

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-164504

(43)Date of publication of application : 16.06.2000

(51)Int.Cl.

H01L 21/027  
G03F 7/23  
G03F 9/00

(21)Application number : 10-339789

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 30.11.1998

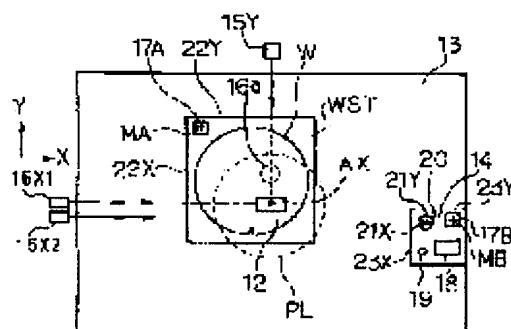
(72)Inventor : TANIGUCHI TETSUO  
KAMIYA SABURO

## (54) STAGE DEVICE AND ALIGNER AND POSITIONING METHOD USING THE STAGE DEVICE

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To make the movable range of a stage larger than the measurable range of an interferometer for measuring the position of the stage, and to accurately measure the position of the stage.

**SOLUTION:** A wafer stage WST is moved from a position, where mobile mirrors 22X and 22Y on the side faces are not irradiated with laser beams from laser interferometers 15X1, 15X2, and 15Y, and when the wafer stage WST enters the measurable range of the laser interferometers 15X1, 15X2, and 15Y, the position of a reference mark MA is measured by a wafer alignment sensor, and the measured values of the laser interferometers 15X1, 15x2, and 15Y are corrected based on the measured result. Also, when a stage 14 for measurement enters the measurable range of the laser interferometers 15X1, 15X2, and 15Y, the position of the reference mark MB is measured by the wafer alignment sensor, and the measured values of the laser interferometers 15X1, 15X2, and 15Y are corrected, based on the measured result.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

18.10.2005

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

\* NOTICES \*

JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1] Two or more movable stages arranged free [ migration ] mutually-independent along a predetermined migration side, The 1st system of measurement which is predetermined measurement within the limits and measures the location of one movable stage in said two or more movable stages, Are \*\*\*\*\* stage equipment and each of two or more of said movable stages is received. Stage equipment characterized by having the 2nd system of measurement which measures whenever [ to the predetermined amount of location gaps or said predetermined criteria location from a criteria location of said measurement within the limits of this movable stage / agreement ], and amending the measurement value of said 1st system of measurement based on the measurement result of said 2nd system of measurement.

[Claim 2] Two or more movable stages arranged free [ migration ] mutually-independent along a predetermined migration side, The 1st system of measurement which is measurement within the limits of \*\* a predetermined 1st, and measures the location of one movable stage in said two or more movable stages, Are \*\*\*\*\* stage equipment and each of two or more of said movable stages is received. the measurement result of the 2nd system of measurement which is measurement within the limits of \*\* the 2nd which overlaps said the 1st measurement range and partial target, and measures a location continuously, and said 1st and 2nd system of measurement -- being based -- this -- the stage equipment characterized by establishing the control system which amends the measurement result of two system of measurement.

[Claim 3] It is stage equipment which is stage equipment according to claim 2, and is characterized by said 1st system of measurement being two or more interferometers which are interferometers and have the measurement range where said 2nd system of measurement overlaps partially one by one.

[Claim 4] The aligner characterized by imprinting on a substrate, being the aligner equipped with claims 1 and 2 or stage equipment given in three, laying the mask with which a mutually different pattern was formed in said two or more movable stages of said stage equipment, and positioning the pattern of the mask on said two or more movable stages by turns.

[Claim 5] The aligner characterized by being the aligner equipped with claims 1 and 2 or stage equipment given in three, laying a mask on the 1st [ of two or more of said movable stages of said stage equipment ] movable stage, laying the property metering device for measuring the property at the time of imprinting the pattern of said mask on the 2nd movable stage, and imprinting the pattern of said mask on a substrate.

[Claim 6] The aligner characterized by exposing a predetermined mask pattern by turns on said two or more substrates while it is the aligner equipped with claims 1 and 2 or stage equipment given in three, a substrate is laid on said two or more movable stages of said stage equipment, respectively and said two or more movable stages are positioned in an exposure location by turns.

[Claim 7] The aligner characterized by being the aligner equipped with claims 1 and 2 or stage equipment given in three, and projection optics, laying a substrate on the 1st [ of two or more of said movable stages of said stage equipment ] movable stage, laying the property metering device for measuring the image formation property of said projection optics on the 2nd movable stage, and exposing a predetermined mask pattern through said projection optics on the substrate on said 1st movable stage.

[Claim 8] When it is the positioning approach using stage equipment according to claim 1 and one

movable stage in said two or more movable stages goes into measurement within the limits of said 1st system of measurement The positioning approach using the stage equipment characterized by measuring whenever [ to the predetermined amount of location gaps or said predetermined criteria location from a criteria location of said measurement within the limits of this movable stage / agreement ] according to said 2nd system of measurement, and amending the measurement value of said 1st system of measurement based on this measurement result.

[Claim 9] It is the positioning approach using claim 2 or stage equipment given in three. In case one movable stage in said two or more movable stages goes into said measurement within the limits of \*\* a 1st from said 2nd measurement range side The positioning approach using the stage equipment characterized by measuring the location of said movable stage to coincidence, and doubling the measurement result of said 1st system of measurement with the measurement result of said 2nd system of measurement based on this measurement result according to said 1st and 2nd system of measurement.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

**JPO and NCIPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention is used for the aligner which was equipped with the stage equipment and its stage equipment for positioning for example, a processing object etc., and was especially equipped with various devices, such as an image formation property measuring machine style, about the aligner used in case a mask pattern is imprinted on a substrate at the lithography process for manufacturing a semiconductor device, a liquid crystal display component, or the thin film magnetic head, and is suitable.

[0002]

[Description of the Prior Art] A high exposure precision is demanded of the aligner of the one-shot exposure mold (stepper mold) used in case a semiconductor device etc. is manufactured, or scan exposure molds (step -, - scanning method, etc.). Therefore, the reticle stage which lays and positions the reticle as a mask in an aligner conventionally, or in the wafer stage which lays the wafer as a substrate and carries out two-dimensional migration The migration mirror is being fixed to that side face, respectively, by irradiating a measurement beam from interferometers, such as a laser interferometer, at that migration mirror, the movement magnitude of the stage concerned is always measured continuously, and a stage can be positioned now with high precision based on this measured value. In such stage equipment, the interferometer of three shafts has usually realized displacement measurement of three degrees of freedom called the migration component and rotation component of the two-dimensional direction of a movable stage.

[0003] However, with such conventional stage equipment, since the measurement beam from each interferometer always needed to be irradiated by the migration mirror in all the fields of the maximum successive range (movable range) of a movable stage, respectively, the migration mirror needed to make the dimension larger than the movable range so that it might continue reflecting the measurement beam from each interferometer, even if the movable stage moved.

[0004] for this reason -- if it is going to extend the movable range of a movable stage -- a large-sized migration mirror -- needed -- it -- following -- the configuration of the whole stage -- large -- not becoming -- the problem that it becomes difficult not to obtain, therefore for a stage to become heavy and to make it move at high speed arises. Moreover, great technical difficulty follows on processing a large-sized migration mirror with predetermined flatness, and fixing to the side face of a movable stage, without making a still bigger migration mirror produce bending also has great difficulty technically. However, since the fall of the flatness of a migration mirror leads to the fall of the positioning accuracy of the stage by the interferometer directly, the problem that the movable range of a movable stage finally must be restricted has produced it.

[0005] There are some which are indicated by JP,7-253304,A as stage equipment for solving such a problem. Even if the measurement beam from the interferometer of 1 separates from this indicated stage equipment from the measuring range of a migration mirror by installing more numbers than the number of the degrees of freedom of the variation rate of a movable stage (for example, it considers as three degrees of freedom) of interferometers (for example, four shafts), it can be made to perform measurement for a degree of freedom of migration of the stage concerned with the remaining interferometer. And if a migration mirror enters again in the measuring range of the interferometer of 1 which separated from the migration mirror, as the movement magnitude of a movable stage can be

measured with the interferometer of 1, magnitude of a migration mirror is made smaller than the movable range of a movable stage by setting up the measured value in the remaining interferometer as initial value of the interferometer of 1.

[0006] Moreover, in these aligners, it is always proper light exposure, and the reticle stage which positions a reticle since it is necessary to expose where a high image formation property is maintained, or the wafer stage which performs positioning of a wafer is equipped with the metering device for measuring image formation properties, such as conditions, such as an illuminance of exposure light, and a projection scale factor. For example, there is a space image detection system for measuring the exposure monitor for measuring the incidence energy of the exposure light to projection optics as a metering device with which the wafer stage is equipped, a location, contrast of a projection image, etc. On the other hand, as a metering device which it has on the reticle stage, there is an orientation plate with which the index mark used for image formation property measurement of projection optics, for example was formed.

[0007]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] While rationalization of light exposure was attained using the metering device formed in the reticle stage or the wafer stage in the conventional aligner like the above, the high image formation property was maintained. On the other hand, it is also required that the throughput (productivity) of the exposure process at the time of manufacturing a semiconductor device etc. should be raised to the latest aligner. As an approach for raising a throughput, the drive rate of a stage other than the approach to which the exposure energy per unit time amount is made to increase is enlarged, with an one-shot exposure mold, stage stepping time is shortened and there is the approach of shortening stage stepping time and the scan exposure time in a scan exposure mold.

[0008] Thus, in order to raise a drive rate with the drive motor of the conversely same output as the former, it is necessary to miniaturize and to lightweight-ize a stage system that what is necessary is just to use the drive motor of an output larger when a stage system is the same magnitude in order to raise the drive rate of a stage. However, if the drive motor of a larger output is used like the former, the heating value generated from the drive motor will increase. Thus, the increasing heating value produces delicate heat deformation of a stage system, and has a possibility that the high positioning accuracy demanded with the aligner may no longer be acquired. Then, in order to prevent degradation of positioning accuracy and to improve a drive rate, a miniaturization and lightweight-izing are expected a stage system as much as possible like the latter.

[0009] Especially, in the aligner of a scan exposure mold, while the scan exposure time is also shortened by improvement in a drive rate and a throughput is greatly improved, there is a big advantage that the synchronous precision of a reticle and a wafer also improves and the image formation engine performance and superposition precision also improve by the miniaturization of a stage system. However, when the reticle stage or the wafer stage is equipped with various metering devices like before, it is difficult to miniaturize a stage.

[0010] Furthermore, when the reticle stage or the wafer stage is equipped with the metering device for measuring a condition or an image formation property of exposure light etc., while the heat source of amplifier etc. is usually attached to the metering device, the temperature of the metering device rises gradually by the exposure of exposure light during measurement. Consequently, a reticle stage or a wafer stage carries out heat deformation delicately, and there is also a possibility that positioning accuracy, superposition precision, etc. may deteriorate. In the present condition, although degradation of the positioning accuracy by the temperature rise of a metering device etc. is slight, it is expected that the need of controlling the effect of the temperature rise of a metering device increases as circuit patterns, such as a semiconductor device, will make it detailed further from now on.

[0011] Although the die length of a migration mirror can be made small compared with the movable range of a movable stage by using the stage equipment indicated by above-mentioned JP,7-253304,A about this, it can seldom contribute to the miniaturization of the movable stage itself even in this case. Therefore, in order to aim at mitigation of the effect of the improvement in the throughput of an exposure process, and the exposure heat of exposure light, still more nearly another device is required.

[0012] Moreover, in the aligner, especially the projection aligner, raising resolution, the depth of

focus (DOF:Depth of Forcus), line breadth control precision, etc. other than the improvement in a throughput is also called for. When exposure wavelength is set to  $\lambda$  and numerical aperture of projection optics is made into N.A. here, resolution R is proportional to  $\lambda/\text{N.A.}$ , and the depth of focus DOF is  $\lambda/2 (\text{N.A.})$ . It is proportional. For this reason, if exposure wavelength  $\lambda$  is only made small and numerical-aperture N.A. is enlarged in order to raise resolution R (the value of R is made small), the depth of focus DOF will become small too much.

[0013] In order to manufacture a device about this, it is necessary to form on a wafer the pattern with which a periodic pattern like Rhine - and - tooth-space (last shipment) pattern, an isolated pattern like a contact hole (CH) pattern, etc. combined. And the technique of raising resolution is developed, without narrowing the depth of focus by the so-called deformation illumination about recently, for example, a periodic pattern, as indicated by JP,4-225514,A. Moreover, the phase shift reticle method is also developed. The technique of similarly raising the depth of focus etc. substantially by the approach of controlling the coherence factor of the illumination light, for example also about an isolated pattern is developed.

[0014] The double exposure method is improved as an approach of raising resolution, without making such a technical trend into a background and making the depth of focus shallow too much substantially. That is, if a double exposure method is applied, the depth of focus large as a whole and high resolution will be obtained by dividing the reticle pattern for some layers into two or more reticle patterns according to a class, and exposing each in piles on the optimal lighting conditions and exposure conditions. Recently, the attempt in which the pattern of the device with which this double exposure method is further applied to KrF excimer laser and the projection aligner using ArF excimer laser as an exposure light, for example, line breadth contains the last shipment pattern to 0.1 micrometers will be exposed is also examined.

[0015] However, if it is going to apply this double exposure method to a projection aligner with one set of a wafer stage, since it is necessary to repeat processes, such as alignment and exposure, serially and to perform them, there is un-arranging [ that a throughput deteriorates sharply ]. Then, in order to raise a throughput, two or more wafer stages are prepared and the projection aligner which enabled it to perform alignment and exposure to juxtaposition is also proposed. However, when two or more sets of wafer stages were prepared in this way, the location of the movable stage of each wafer stage should only be measured with the interferometer and each movable stage was positioned in an exposure location by turns in order that the measurement beam of an interferometer may break off, in case each movable stage moves greatly, there was un-arranging [ that it was difficult to position each movable stage in the condition of having repeatability quickly ].

[0016] This invention sets it as the 1st purpose to offer the stage equipment which can measure the location of the moving part with high precision in the condition of having repeatability while it miniaturizes moving part in the condition that two or more of those functions can be performed in the stage equipment which has two or more functions and can move the moving part to a high speed in view of this point. Moreover, in order to perform double exposure etc., this invention sets it as the 2nd purpose to offer the stage equipment which can be quickly positioned in the condition of having repeatability in a target location [ moving part / each ], respectively, when two or more moving part is prepared.

[0017] Furthermore, this invention is in the condition which maintained the function which measures the property at the time of having such stage equipment and imprinting the pattern of a reticle, or the image formation property of projection optics, and sets it as the 3rd purpose to offer the aligner which can miniaturize the moving part for positioning a reticle or a wafer. Furthermore, this invention is equipped with such stage equipment, and sets it as the 4th purpose to offer the aligner which can enforce a double exposure method etc. by the high throughput.

[0018] Moreover, this invention aims also at offering the positioning approach that it can position quickly using such stage equipment.

[0019]

[Means for Solving the Problem] Two or more movable stages where the 1st stage equipment by this invention has been arranged free [ migration ] mutually-independent along a predetermined migration side (WST, 14), Are stage equipment equipped with the 1st system of measurement (15X1, 15X2, 15Y) which is predetermined measurement within the limits and measures the location

of one movable stage in two or more of the movable stages, and each of two or more of the movable stages is received. It has the 2nd system of measurement (16, 17A, 17B) which measures whenever [ to the predetermined amount of location gaps or its predetermined criteria location from a criteria location of that measurement within the limits of this movable stage / agreement ], and the measurement value of that 1st system of measurement is amended based on the measurement result of that 2nd system of measurement.

[0020] According to the 1st stage equipment of this invention, when performing two or more functions, such as exposure and property measurement, for example, a movable stage is assigned for every (two or more functional groups of every [ or ]) function, and two or more movable stages (moving part) are prepared. By this, since it can miniaturize, each movable stage can be driven at a high speed, respectively. However, in order that the measurement beam of a laser interferometer may break off if each movable stage moves greatly when two or more movable stages are only prepared and the laser interferometer of relative displacement system of measurement, for example, one shaft, is formed as the 1st system of measurement, a certain zero setting-operation is needed. So, in this invention, the 2nd system of measurement (16, 17A, 17B) was established as a kind of absolute value system of measurement.

[0021] And one movable stage (WST) in two or more of the movable stages When it goes into the measurement within the limits from the exterior of the measurement range of the 1st system of measurement By measuring the amount of location gaps from the predetermined criteria location of that measurement within the limits of that movable stage according to that 2nd system of measurement (absolute value system of measurement), for example, presetting this amount of location gaps at the measurement value of that 1st system of measurement The measurement value of the 1st system of measurement comes to show correctly in the form where it has repeatability for the location of the movable stage. Or what is necessary is to reset the measurement value of the 1st system of measurement, or just to preset to a predetermined value, when the 2nd system of measurement measures whenever [ agreement ] (for example, whenever [ agreement / of two random patterns ]) and whenever [ agreement ] becomes more than predetermined level. Each movable stage is positioned with high precision in the condition of having repeatability quickly by this.

[0022] Next, two or more movable stages where the 2nd stage equipment by this invention has been arranged free [ migration ] mutually-independent along a predetermined migration side (WST1, WST2), Are stage equipment equipped with the 1st system of measurement (87Y3) which is measurement within the limits of \*\* a predetermined 1st, and measures the location of one movable stage in two or more of the movable stages, and each of two or more of the movable stages is received. The 2nd system of measurement (87Y2, 87Y4) which is measurement within the limits of \*\* the 2nd which overlaps that the 1st measurement range and partial target, and measures a location continuously, and the control system (38) which amends the measurement result of these two system of measurement based on the measurement result of those 1st and 2nd system of measurement are established.

[0023] According to the 2nd stage equipment of this invention, in order to perform double exposure, for example, two or more movable stages (WST1, WST2) are prepared. Consequently, since it will separate from the measurement beam of that laser interferometer as that 1st system of measurement when each movable stage is moved greatly if the laser interferometer of one shaft as for example, relative displacement system of measurement is used, how each movable stage is positioned in the form where it has repeatability poses a problem. On the other hand, in this invention, the laser interferometer of one shaft (or two or more shafts) as for example, relative displacement system of measurement is used also as the 1st system of measurement. and in case one movable stage in two or more of the movable stages goes into the measurement within the limits of \*\* a 2nd, for example from the 1st measurement range side By measuring the location of the movable stage to coincidence according to the 1st system of measurement and 2nd system of measurement, and presetting the value which amended the measurement value of the 1st system of measurement according to the angle of rotation of the movable stage at the measurement value of the 2nd system of measurement The measured value of the 1st system of measurement is received and passed to the 2nd system of measurement. After this, the movable stage can be positioned with high precision in the condition of having repeatability, using the 2nd system of measurement.

[0024] That 1st system of measurement and the 2nd system of measurement, respectively In this case, order of interference (integer)  $N_1$  and  $N_2$ , phases  $\phi_1$  and  $\phi_2$  (this is equivalent to the phase contrast of a reference sign and a measurement signal by the heterodyne-interferometry method) (rad), And you may make it measure the location of a movable stage using the function  $f$  of the wavelength  $\lambda$  of a measurement beam ( $\lambda$ ) in the form of  $f(\lambda) \{N_1 + \phi_1/(2\pi)\}$  and  $f(\lambda) \{N_2 + \phi_2/(2\pi)\}$ . and when it becomes measurable [ the 2nd system of measurement ] and the location of the movable stage is measured to coincidence according to the 1st system of measurement and 2nd system of measurement From the measurement value of the 1st system of measurement, and the angle of rotation of the movable stage, order-of-interference  $N_2'$  of the 2nd system of measurement, And it is more desirable than the phase  $\phi_2$  which presumes phase  $\phi_2'$  and is measured by degree  $N_2'$ , phase  $\phi_2'$ , and its 2nd system of measurement to determine the preset value of the degree  $N_2$  of the 2nd system of measurement. setting the measurement value of that 2nd system of measurement to  $f(\lambda) \{N_2 + \phi_2/(2\pi)\}$  after this -- it is -- the measurement error of the angle of rotation of that movable stage etc. -- being certain -- even if generated a grade, the location of that movable stage is measurable with the reproducibility of the proper of that 2nd system of measurement. Moreover, Function  $f(\lambda)$  is  $\lambda/m$ , using two or more integers  $m$  as an example.

[0025] Next, it is the aligner equipped with the stage equipment of this invention, the 1st aligner by this invention lays the mask ( $R_1$ ,  $R_2$ ) with which a mutually different pattern was formed in two or more of the movable stages ( $RST_1$ ,  $RST_2$ ) of the stage equipment, and it imprints the pattern of the mask on two or more of the movable stages on a substrate ( $W_1$ ), positioning by turns.

[0026] According to the 1st aligner of this this invention, it can expose using a double exposure method and improvement in resolution and the depth of focus can be aimed at. Moreover, since it has stage equipment of this invention, for example, when measuring the location of the movable stage with a laser interferometer, the migration mirror installed in the movable stage can be made smaller than the successive range of the movable stage, and weight of the movable stage can be made small. Therefore, it becomes easy to move the movable stage to a high speed, and improvement in a throughput can be aimed at.

[0027] Next, the 2nd aligner by this invention is an aligner equipped with the stage equipment of this invention. A mask ( $R$ ) is laid on the 1st [ of two or more of the movable stages ( $RST$ , 5) of the stage equipment ] movable stage ( $RST$ ). The property metering device (6) for measuring the property at the time of imprinting the pattern of the mask is laid on the 2nd movable stage (5), and the pattern of the mask ( $R$ ) is imprinted on a substrate ( $W$ ).

[0028] According to the 2nd aligner of this this invention, since magnitude of the 1st movable stage is made to necessary minimum by giving only the minimum function required for exposure to the 1st movable stage ( $RST$ ) used for original exposure, miniaturization of a stage and lightweight-ization are performed, improvement in a throughput is aimed at and the thing of it can be carried out. On the other hand, there is no direct need in exposure, and since the property metering device (6) for measuring the property at the time of imprinting the pattern of the mask ( $R$ ) is carried in 2nd another movable stage (5), it can also measure the property at the time of imprinting the pattern of the mask. Moreover, since it has stage equipment of this invention, the location of two or more of the movable stages is measurable with high precision.

[0029] Next, the 3rd aligner by this invention is an aligner equipped with the stage equipment of this invention, and it exposes a predetermined mask pattern by turns on two or more of the substrates, laying a substrate ( $W_1$ ,  $W_2$ ), respectively on two or more of the movable stages ( $WST_1$ ,  $WST_2$ ) of the stage equipment, and positioning two or more of the movable stages in an exposure location by turns.

[0030] According to the 3rd aligner of this this invention, performing exposure actuation on one movable stage ( $WST_1$ ) of two or more of the movable stages ( $WST_1$ ,  $WST_2$ ), carrying-in taking out and alignment actuation of a substrate can be performed, and improvement in a throughput can be aimed at on another movable stage ( $WST_2$ ). Moreover, since it has stage equipment of this invention, the location of two or more of the movable stages is measurable with high precision.

[0031] Next, the 4th aligner by this invention is the stage equipment of this invention, and an aligner equipped with projection optics ( $PL$ ). A substrate ( $W$ ) is laid on the 1st [ of two or more of the

movable stages (WST, 14) of the stage equipment ] movable stage (WST). The property metering device (20) for measuring the image formation property of the projection optics is laid on the 2nd movable stage (14), and a predetermined mask pattern is exposed through the projection optics on the substrate on the 1st movable stage.

[0032] According to the 4th aligner of this invention, by giving only the minimum function required for exposure to the 1st movable stage (WST) used for original exposure, miniaturization of the 1st movable stage (WST) and lightweight-ization can be performed, and improvement in a throughput can be aimed at. On the other hand, there is no direct need in exposure, and since the property metering device (20) for measuring the image formation property of the projection optics is carried in 2nd another movable stage (14), it can also measure an image formation property. Moreover, since it has stage equipment of this invention, the location of two or more of the movable stages is measurable with high precision.

[0033] Next, the 1st positioning approach by this invention is the positioning approach which used the stage equipment of this invention. When one movable stage (WST) in two or more of the movable stages (WST, 14) goes into measurement within the limits of the 1st system of measurement Whenever [ to the predetermined amount of location gaps or its predetermined criteria location from a criteria location of that measurement within the limits of this movable stage / agreement ] is measured according to that 2nd system of measurement, and the measurement value of that 1st system of measurement is amended based on this measurement result. According to this positioning approach, two or more of the movable stages can be positioned with high precision in the condition of having repeatability easily, respectively.

[0034] Next, the 2nd positioning approach by this invention is the positioning approach which used the stage equipment of this invention. In case one movable stage in two or more of the movable stages (WST1, WST2) goes into the measurement within the limits of \*\* a 1st from the 2nd measurement range side According to those 1st and 2nd system of measurement, the location of that movable stage is measured to coincidence, and the measurement result of that 1st system of measurement is doubled with the measurement result of that 2nd system of measurement based on this measurement result. According to this positioning approach, two or more of the movable stages can be positioned with high precision in the condition of having repeatability easily, respectively.

[0035]

[Embodiment of the Invention] Hereafter, with reference to drawing 1 - drawing 4 , it explains per gestalt of operation of the 1st of this invention. This example applies this invention to the projection aligner of step - and - scanning method. Drawing 1 shows the projection aligner of this example, and the exposure light IL injected from the illumination system 1 containing a fly eye lens, a quantity of light monitor, an adjustable aperture diaphragm, a field diaphragm, a relay lens system, etc. for the exposure light source, beam plastic surgery optical system, and illumination distribution equalization illuminates the lighting field of the shape of a slit of the pattern side (inferior surface of tongue) of Reticle R through a mirror 2 and a condensing lens 3 in this drawing 1 at the time of exposure. As an exposure light IL, excimer laser light, such as KrF (wavelength of 248nm) or ArF (wavelength of 193nm), the higher harmonic of an YAG laser, or i line (wavelength of 365nm) of a mercury lamp can be used. By switching the adjustable aperture diaphragm within an illumination system 1, it is constituted so that the lighting of the request of the usual lighting, zona-orbicularis lighting, the so-called deformation lighting, the lighting of a small coherence factor (sigma value), etc. can be chosen. When the exposure light source is a laser light source, the main control system 10 which carries out control control of the actuation of the whole equipment controls the luminescence timing etc. through a non-illustrated laser power source.

[0036] It is reduced through projection optics PL for the projection scale factor beta (beta is 1/4 time or 1/5 time), and the image of the pattern in the lighting field 9 (refer to drawing 3 ) by the exposure light IL of Reticle R is projected on the exposure field 12 of the shape of a slit on the wafer (wafer) W with which the photoresist was applied. The Z-axis is taken in parallel with the optical axis AX of projection optics PL hereafter, the X-axis is taken along the non-scanning direction (namely, direction perpendicular to the space of drawing 1 ) which intersects perpendicularly with the reticle R at the time of scan exposure, and the scanning direction of Wafer W in a flat surface perpendicular to the Z-axis, and a Y-axis is taken and explained along a scanning direction (namely, direction

parallel to the space of drawing 1 ).

[0037] First, Reticle R is held by vacuum adsorption on a reticle stage RST, and the reticle stage RST is laid free [ migration in the direction of Y ] through the pneumatic bearing on guide of two 4A arranged in parallel, and 4B. Furthermore, in this example, the stage 5 for measurement is laid free [ migration in the direction of Y ] through the pneumatic bearing on guide 4A and 4B independently [ a reticle stage RST ].

[0038] Drawing 3 is the top view showing a reticle stage RST and the stage 5 for measurement, and in this drawing 3 , along with the guides 4A and 4B extended in the direction (scanning direction) of Y, the reticle stage RST and the stage 5 for measurement are laid so that it may drive in the direction of Y with a non-illustrated linear motor etc., respectively. The die length of Guides 4A and 4B is set up for a long time by the width of face of the stage 5 for measurement at least rather than the migration stroke of the reticle stage RST at the time of scan exposure. Moreover, the reticle stage RST is constituted combining the coarse adjustment stage where it moves in the direction of Y, and the jogging stage which can tune a two-dimensional location finely on this coarse adjustment stage. Furthermore, on the reticle mark stage RST, one pair of reference mark plate 17C 17C [ 1 and ]2 is fixed by physical relationship which sandwiches Reticle R in the direction of X, and the reference marks MC1 and MC2 of 2-dimensional one, for example, a cross-joint mold, are formed in reference mark plate 17C 17C [ 1 and ]2, respectively. The physical relationship of reference marks MC1 and MC2 and the original edition pattern of Reticle R is measured with high precision beforehand, and is memorized by the storage section of the main control system 10.

[0039] And the orientation plate 6 which consists of a long and slender glass plate in the direction of X is fixed on the stage 5 for measurement, and two or more index marks IM for image formation property measurement of projection optics PL are formed by predetermined arrangement on the orientation plate 6. the lighting field 9 of the shape of a slit of exposure light [ as opposed to Reticle R in an orientation plate 6 ] -- more -- exact -- the width of face of the direction of X of the visual field by the side of the reticle R of projection optics PL -- a wrap -- things are equipped with all possible magnitude. By using an orientation plate 6, since it is not necessary to prepare the exclusive reticle for image formation property measurement and and the swap time of the reticle R for real exposure and its exclusive reticle also becomes unnecessary, an image formation property can be measured in high frequency, and aging of projection optics PL can be followed correctly. Moreover, while the stage 5 for measurement is also equipped with the positioning device in the minute range to the direction of X (the non-measuring direction), on the stage 5 for measurement, one pair of reference mark plate 17D 17D [ 1 and ]2 is fixed by it so that an orientation plate 6 may be inserted in the direction of X, and the reference marks MD1 and MD2 of 2-dimensional one, for example, a cross-joint mold, are formed in it at reference mark plate 17D 17D [ 1 and ]2, respectively. The physical relationship of reference marks MD1 and MD2 and two or more index marks IM is also measured correctly beforehand, and is memorized by the storage section of the main control system 10.

[0040] Thus, in this example, the stage 5 for measurement for orientation plate 6 is formed independently, and the member for measurement is not carried besides Reticle R on the original reticle stage RST. That is, in order to equip a reticle stage RST only with necessary minimum scan and positioning function for scan exposure, miniaturization of a reticle stage RST and lightweightization are realized. Therefore, since a reticle stage RST can be scanned more at a high speed, the throughput of an exposure process improves. in contraction projection, since especially the scan speed of a reticle stage RST becomes twice [  $1/\beta$  ] (for example, 4 times, 5 times, etc.) the scan speed of a wafer stage, the upper limit of a scan speed may be determined mostly in a reticle stage, and its throughput improves greatly especially by this example in this case.

[0041] Moreover, a laser beam is irradiated by migration mirror 24Y of the side face of the direction of +Y of a reticle stage RST from laser interferometer 7Y installed in the direction of +Y to Guides 4A and 4B. + A laser beam is irradiated by migration mirror 24X of the side face of the direction of +X of a reticle stage RST from the biaxial laser interferometer 7X1 installed in the direction of X, and 7X2. By laser interferometer 7Y, 7X1, and 7X2, the X coordinate of a reticle stage RST, Y coordinate and an angle of rotation are measured, a measurement value is supplied to the main control system 10 of drawing 1 , and the main control system 10 controls the rate and location of a

reticle stage RST through a linear motor etc. based on the measurement value. Moreover, a laser beam is irradiated by migration mirror 25Y of the side face of the direction of -Y of the stage 5 for measurement from laser interferometer 8Y installed in the direction of -Y to Guides 4A and 4B, and the Y coordinate of the stage 5 for measurement measured by laser interferometer 8Y is supplied to the main control system 10. The optical axis of the laser interferometers 7Y and 8Y of a Y-axis has passed through the core AX of the lighting field 9, i.e., the optical axis of projection optics PL, along the direction of Y, respectively, and laser interferometers 7Y and 8Y are always measuring the location of the scanning direction of a reticle stage RST and the stage 5 for measurement, respectively.

[0042] In addition, mirror plane processing of the side face in which a reticle stage RST intersects perpendicularly is carried out, you may consider that these mirror planes are the migration mirrors 24X and 24Y, mirror plane processing of the side face in which the stage 5 for measurement intersects perpendicularly is carried out, and you may consider that these mirror planes are the migration mirrors 25X and 25Y. Furthermore, in this example, as shown in drawing 1, one pair of reticle alignment microscopes RA and RB for detecting the amount of location gaps of the alignment mark (reticle mark) formed on Reticle R and the reference mark on a corresponding wafer stage (un-illustrating) above Reticle R are arranged. The straight line passing through the detection core of the reticle alignment microscopes RA and RB is parallel to the X-axis, and the core based on [ those ] detection has agreed in the optical axis AX. In this example, the location of the reference marks MC1 and MC2 on the reticle stage RST shown in drawing 3 and the reference marks MD1 and MD2 on the stage 5 for measurement is detected using the reticle alignment microscopes RA and RB corresponding to the 2nd system of measurement (absolute value system of measurement) of this invention.

[0043] And at the time of measurement of an image formation property, a reticle stage RST is made to shunt in the direction of +Y, and if it moves in the direction of Y on the stage 5 for measurement so that an orientation plate 6 may cover the lighting field 9 mostly, a laser interferometer 7X1 and the laser beam from 7X2 will separate from the side face of a reticle stage RST, and will come to be irradiated by migration mirror 25X of the direction of +X of the stage 5 for measurement. the detection core where the reticle alignment microscopes RA and RB detect the amount of location gaps from the detection core (core of a visual field) of the reference marks MD1 and MD2 on an orientation plate 6, respectively, and, as for the main control system 10 of drawing 1, the core of reference marks MD1 and MD2 corresponds, respectively at this time -- receiving -- the symmetry -- and the stage 5 for measurement is positioned so that the amount of location gaps may become small most. And the laser interferometer 7X1 of the X-axis and the measurement value of 7X2 are reset in this condition, respectively. In addition, those measurement values may be preset to a predetermined value.

[0044] After this, it is measured with high precision in a laser interferometer 7X1 and the condition that the location of the direction of X of the stage 5 for measurement and an angle of rotation have repeatability by 7X2, and the location of the direction of Y of the stage 5 for measurement is always measured by high degree of accuracy by laser interferometer 8Y. Therefore, based on these measurement values, the main control system 10 can control the location of the stage 5 for measurement with high precision through a linear motor etc. In addition, you may make it preset a laser interferometer 7X1 and the measurement value of 7X2 to the value which corresponds, respectively based on those amounts of location gaps instead of making the amount of location gaps of reference marks MD1 and MD2 into min as mentioned above.

[0045] On the other hand, although the location of the non-scanning direction of a reticle stage RST is not measured during measurement, if a reticle stage RST arrives at the bottom of the lighting field 9 for exposure, a laser interferometer 7X1 and the laser beam from 7X2 will come to be again irradiated by migration mirror 24X of a reticle stage RST. And like the case of the stage 5 for measurement, the amount of location gaps of the reference marks MC1 and MC2 on a reticle stage RST is detected using the reticle alignment microscopes RA and RB, and the main control system 10 is in the condition which positioned the reticle stage RST so that those amounts of location gaps may become symmetrically and the smallest, and it presets a laser interferometer 7X1 and the measurement value of 7X2 to a predetermined value. The location of the direction of X of a reticle

stage RST and measurement of an angle of rotation are performed in the condition that it is reproducible after this, and since the location of the direction of Y is always measured by laser interferometer 7Y, it can position a reticle stage RST in a desired location with high precision. Therefore, there is no un-arranging [ of a laser interferometer 7X1 and the laser beam from 7X2 breaking off ].

[0046] Return and Wafer W are held through a non-illustrated wafer holder at the wafer stage WST top, and the wafer stage WST is laid by drawing 1 free [ migration in the direction of X, and the direction of Y ] through the pneumatic bearing on the surface plate 13. The focal leveling device which controls the location (focal location) of the Z direction of Wafer W and a tilt angle is also included in the wafer stage WST. Moreover, the stage 14 for measurement where it had various kinds of metering devices in the direction of X and the direction of Y free [ migration ] through the pneumatic bearing with another object is laid in the wafer stage WST on the surface plate 13. The device which controls the focal location of the top face is included also in the stage 14 for measurement.

[0047] Drawing 2 is the top view showing the wafer stage WST and the stage 14 for measurement, and is set to this drawing 2 . In the interior of the front face of a surface plate 13, a coil train is embedded in a predetermined array. In the base of the wafer stage WST, and the base of the stage 14 for measurement, a magnet train is embedded with York, respectively. A flat-surface motor is constituted by that coil train and the corresponding magnet train, respectively, and the location of the direction of X of the wafer stage WST and the stage 14 for measurement and the direction of Y and the angle of rotation are controlled by this flat-surface motor mutually-independent. In addition, about the flat-surface motor, it is indicated more by the detail, for example in JP,8-51756,A.

[0048] The wafer stage WST of this example is equipped only with the minimum function required for exposure. That is, while the wafer stage WST is equipped with a focal leveling machine, on the wafer stage WST, the wafer holder (base side of Wafer W) which carries out adsorption maintenance of the wafer W, and reference mark plate 17A in which reference mark MA for location measurement of the wafer stage WST was formed are installed. On reference mark plate 17A, the reference mark for reticle alignment (un-illustrating) is also formed.

[0049] Moreover, as shown in drawing 1 , by the off-axis method for the alignment of Wafer W, the wafer alignment sensor 16 of an image-processing method adjoins projection optics PL, and is formed, and the detecting signal of the wafer alignment sensor 16 is supplied to the alignment processor in the main control system 10. The wafer alignment sensor 16 is a sensor for location measurement of the alignment mark (wafer mark) attached to each shot field on Wafer W. In this example, location detection of reference mark MA on the wafer stage WST etc. is performed using the wafer alignment sensor 16. That is, the wafer alignment sensor 16 supports the 2nd system of measurement (absolute value system of measurement) of this invention.

[0050] Moreover, the front face of the stage 14 for measurement is set as the almost same height as the front face of the wafer W on the wafer stage WST. In drawing 2 and in the stage 14 for measurement Projection optics PL The energy per all unit time amount of the exposure light which passed (Incidence energy) The illuminance unevenness sensor 19 which consists of a photoelectrical sensor for measuring the illumination distribution in the exposure field 12 of the shape of a slit by the exposure monitor 18 and projection optics PL which consist of a photoelectrical sensor for measuring, the measurement plate 20 with which the slits 21X and 21Y for image formation property measurement were formed, And reference mark plate 17B in which the reference mark MB used as a datum reference was formed is being fixed. The physical relationship of a reference mark MB and illuminance unevenness sensor 19 grade is measured with high precision beforehand, and is memorized by the storage section of the main control system 10 of drawing 1 . The location of a reference mark MB is also measured by the wafer alignment sensor 16.

[0051] A condenser lens and a photoelectrical sensor are arranged at the slit 21X [ of the X-axis of the measurement plate 20 ], and base side of slit 21Y of a Y-axis, respectively, and the space image detection system consists of a measurement plate 20, a photoelectrical sensor, etc. In addition, the edge of rectangle opening may be used instead of the slits 21X and 21Y. And while the light-receiving side of the exposure monitor 18 is formed in wrap magnitude in the exposure field 12, the light sensing portion of the illuminance unevenness sensor 19 has become pinhole-like, and the

detecting signal of the exposure monitor 18 and the illuminance unevenness sensor 19 is supplied to the main control system 10 of drawing 1 .

[0052] Moreover, the detecting signal of the photoelectrical sensor of the pars basilaris ossis occipitalis of the measurement plate 20 is supplied to the image formation property operation system 11 of drawing 1 . in this case, at the time of measurement of the image formation property of projection optics PL The orientation plate 6 on the stage 5 for measurement by the side of the reticle of drawing 3 is moved to the lighting field 9. The detecting signal from the photoelectrical sensor of a pars basilaris ossis occipitalis is incorporated by the image formation property operation system 11, the image of the index mark IM currently formed in the orientation plate 6 being projected on a wafer stage side, and scanning the image in the direction of X, and the direction of Y to the slits 21X and 21Y on the measurement plate 20, respectively. By the image formation property operation system 11, that detecting signal is processed, the location of the image of that index mark IM, contrast, etc. are detected, and it outputs to the main control system 10 in quest of image formation properties, such as a curvature of field of a projection image, distortion, and a best focus location, from this detection result. Furthermore, although not illustrated, the device which drives the predetermined lens within projection optics PL, and amends image formation properties, such as a predetermined distortion, is also established, and the main control system 10 is constituted so that the image formation property of projection optics PL can be amended through this amendment device.

[0053] In drawing 2 , sources of generation of heat, such as amplifier, and the power source, and the signal cable for a communication link are connected to sensors, such as the exposure monitor 18 with which the stage 14 for measurement is equipped, the illuminance unevenness sensor 19, and a photoelectrical sensor of the pars basilaris ossis occipitalis of the measurement plate 20, by each. Therefore, when those sensors are carried in the wafer stage WST for exposure, there is a possibility that positioning accuracy etc. may deteriorate with the tension of the heat source which accompanies a sensor, or a signal cable. Moreover, the heat energy by the exposure of the exposure light under measurement of an image formation property etc. also has a possibility of causing aggravation of positioning accuracy etc. On the other hand, in this example, since those sensors are formed in the stage 14 for measurement separated from the wafer stage WST for exposure, there is an advantage to which the fall of a miniaturization and the positioning accuracy by the heat source of the sensor for measurement or the heat energy of the exposure light under measurement while being able to carry out [ lightweight ]-izing can prevent the wafer stage WST. Furthermore, while the passing speed and the controllability of the wafer stage WST improve and the throughput of an exposure process increases by the miniaturization of the wafer stage WST, positioning accuracy etc. improves more.

[0054] Moreover, a laser beam is irradiated by migration mirror 22Y of the side face of the direction of +Y of the wafer stage WST from laser interferometer 15Y installed in the direction of +Y to the surface plate 13. - A laser beam is irradiated by migration mirror 22X of the side face of the direction of -X of the wafer stage WST from the biaxial laser interferometer 15X1 installed in the direction of X, and 15X2. The X coordinate of the wafer stage WST, Y coordinate, and an angle of rotation are measured by laser interferometer 15Y, 15X1, and 15X2, a measurement value is supplied to the main control system 10 of drawing 1 , and the main control system 10 controls the rate and location of the wafer stage WST by them through a flat-surface motor based on the measurement value. Similarly, migration mirror 23X of the X-axis and migration mirror 23Y of a Y-axis are attached also in the side face of the stage 14 for measurement. In addition, mirror plane processing of the side face in which the wafer stage WST intersects perpendicularly may be carried out, and you may consider that these mirror planes are the migration mirrors 22X and 22Y, and may consider similarly that the mirror planes of the side face of the stage 14 for measurement are the migration mirrors 23X and 23Y.

[0055] And at the time of measurement of the incidence energy of exposure light etc., the laser beam for those location measurement is irradiated by the migration mirrors 23X and 23Y of the stage 14 for measurement. Drawing 4 The wafer stage WST at the time of measurement of the incidence energy of exposure light etc., And if it moves on the stage 14 for measurement so that an example of arrangement of the stage 14 for measurement may be shown, the wafer stage WST may be made to shunt in the location distant from the exposure field 12 in this way and the exposure field 12 may be started A laser interferometer 15X1, 15X2, and the laser beam from 15Y separate from the migration

mirrors 22X and 22Y of the wafer stage WST, and come to be irradiated by the migration mirrors 23X and 23Y of the stage 14 for measurement. At this time, where the angle of rotation of the stage 14 for measurement is controlled, the reference mark MB on the stage 14 for measurement detects the amount of location gaps from the detection core of a reference mark MB, so that it may enter in visual field 16a of the wafer alignment sensor 16 of drawing 1, and it may move on the stage 14 for measurement and the laser interferometer 15X1 of the biaxial X-axis and the measurement value of 15X2 may turn into the same value. And the main control system 10 presets X component and Y component of this amount of location gaps at the measurement value of a laser interferometer 15X1, 15X2, and laser interferometer 15Y, respectively. After this, the location of the stage 14 for measurement is measured with high precision in a laser interferometer 15X1, 15X2, and the condition of having repeatability by 15Y, and the main control system 10 can control the location of the stage 14 for measurement with high precision through a flat-surface motor based on this measurement value.

[0056] Make the stage 14 for measurement shunt and it is made for a laser interferometer 15X1, 15X2, and the laser beam from 15Y to be irradiated by the migration mirrors 22X and 22Y of the wafer stage WST on the other hand, as shown in drawing 2 at the time of exposure. Move reference mark MA into visual field 16a of the wafer alignment sensor 16, and in a laser interferometer 15X1 and the condition of having made the measurement value of 15X2 in agreement The amount of location gaps of reference mark MA is measured, and presetting of the measurement value of a laser interferometer 15X1, 15X2, and 15Y is performed based on this measurement value. Positioning of the wafer stage WST is performed with high precision in the condition of having repeatability after this. In addition, since the location of the wafer stage WST and the stage 14 for measurement is roughly controllable also by driving a flat-surface motor with open-loop, in the condition that the laser beam is not irradiated, the main control system 10 drives the location of the wafer stage WST and the stage 14 for measurement by the open loop system using a flat-surface motor.

[0057] Although not illustrated [ return and ] to drawing 1, in the side face of projection optics PL, the focal location detection system (AF sensor) of the oblique incidence method for measuring the focal location of the front face of Wafer W is arranged, and the front face of the wafer W under scan exposure focuses to the image surface of projection optics PL based on this detection result. Next, it explains per actuation of the projection aligner of this example. First, the amount of incident light of the exposure light IL to projection optics PL is measured using the stage 14 for measurement by the side of a wafer stage. In this case, in order to measure the amount of incident light in the condition that Reticle R was loaded, in drawing 1, the reticle R for exposure is loaded on a reticle stage RST, and Reticle R moves onto the lighting field of the exposure light IL. Then, as shown in drawing 4, on a surface plate 13, it shunts in the direction of +Y and the stage 14 for measurement moves toward the exposure field 12 by projection optics PL on the wafer stage WST. Then, as mentioned above, after performing presetting of the measurement value of 2 and 15Y, the stage 14 for measurement stops [ the light-receiving side of the dose monitor 18 on a laser interferometer 15X1, and the 15X stage 14 for measurement ] the exposure field 12 in a wrap location, and the quantity of light of the exposure light IL is measured through the dose monitor 18 in this condition.

[0058] By the main control system 10, the measured quantity of light is supplied to the image formation property operation system 11. under the present circumstances, it is alike, for example, the measurement value which detects the flux of light acquired from the exposure light IL by branching within an illumination system 1, and is obtained is also supplied to the image formation property operation system 11, and the multiplier for calculating indirectly the quantity of light which carries out incidence to projection optics PL is computed and memorized by the image formation property operation system 11 based on two measurement values from the quantity of light by which a monitor is carried out within an illumination system 1. In the meantime, Wafer W is loaded to the wafer stage WST. Then, as shown in drawing 2, the stage 14 for measurement shunts in the location distant from the exposure field 12, and the wafer stage WST moves toward the exposure field 12 on it. While the wafer stage WST is shunting, as shown in drawing 4, since the laser beam from laser interferometer 15Y, 15X1, and 15X2 is not irradiated, position control is performed by driving a flat-surface motor by the open loop system.

[0059] And make the stage 14 for measurement shunt the exposure field 12, and the wafer stage

WST is moved to the location concerning the exposure field 12. After performing presetting of the measurement value of laser interferometer 15Y, 15X1, and 15X2 as mentioned above, Migration of the wafer stage WST is performed so that the core of the reference mark for the reticles on reference mark member 17A on the wafer stage WST (un-illustrating) may be located near optical-axis AX (core of the exposure field 12). Then, alignment of Reticle R is performed by driving the reticle stage RST of drawing 1 so that the amount of location gaps of the reticle mark on Reticle R and the reference mark to which it corresponds on reference mark plate 17A may come in predetermined tolerance using the reticle alignment microscopes RA and RB. Spacing (the amount of base lines) of the detection core of the sensor and the core of the projection image of Reticle R is correctly detected by detecting again the location of another reference mark MA on the reference mark plate 17A by the wafer alignment sensor 16 of drawing 1 to coincidence mostly with this.

[0060] Next, the array coordinate of each shot field of Wafer W is searched for by detecting the location of the wafer mark attached to the predetermined shot field on Wafer W (sample shot) through the wafer alignment sensor 16. Then, scan exposure is performed, performing alignment of the shot field for [ of Wafer W ] exposure, and the pattern image of Reticle R based on the array coordinate and the above-mentioned amount of base lines. At the time of the scan exposure to each shot field on Wafer W In drawing 1 , it synchronizes with Reticle R being scanned at a rate VR in the direction (or the direction of -Y) of +Y through a reticle stage RST to the lighting field 9 (refer to drawing 3 ) of the exposure light IL. Wafer W is scanned by rate beta-VR (beta is a projection scale factor) in the direction of -X (or the direction of +X) through the wafer stage WST to the exposure field 12.

[0061] During exposure, the quantity of light of the flux of light which branched from the exposure light IL for example, within the illumination system 1 is always measured, and the image formation property operation system 11 is supplied. Moreover, by the image formation property operation system 11 The measurement value of the quantity of light supplied and the quantity of light of the exposure light IL which carries out incidence to projection optics PL based on the multiplier for which it has asked beforehand are computed. The variation of the image formation properties (a projection scale factor, distortion, etc.) of the projection optics PL generated by absorption of the exposure light IL is calculated, and this count result is supplied to the main control system 10. By the main control system 10, the image formation property is amended by driving the predetermined lens within projection optics PL, for example.

[0062] Although the above is the usual exposure, when measuring a device status by the maintenance of the projection aligner of this example etc., it measures by moving the stage 14 for measurement to the exposure field 12 side. For example, when measuring the illuminance homogeneity in the exposure field 12, after removing Reticle R from a reticle stage RST, illumination distribution is measured in drawing 4 , moving the illuminance unevenness sensor 19 slightly in the direction of X, and the direction of Y in the exposure field 12.

[0063] Next, it explains per [ which measures image formation measurement of projection optics PL ] actuation using the stage 5 for measurement by the side of a reticle stage, and the stage 14 for measurement by the side of a wafer stage. In this case, in drawing 3 , a reticle stage RST shunts in the direction of +Y, and the orientation plate 6 on the stage 5 for measurement moves into the lighting field 9 in it. At this time, the laser interferometer 7X1 of a non-scanning direction and the laser beam from 7X2 also come to be irradiated by the stage 5 for measurement, and reset (or presetting) of a measurement value is performed as mentioned above using the reticle alignment microscopes RA and RB. Then, based on the measurement value of a laser interferometer 7X1, 7X2, and 8Y, the stage 5 for measurement is positioned with high precision.

[0064] At this time, as already explained, the image of two or more index marks IM is projected on a wafer stage side through projection optics PL. In this condition, the location of those images and contrast are searched for in drawing 4 by driving the stage 14 for measurement, scanning the image of that index mark IM in the direction of X, and the direction of Y to the slit on the measurement plate 20, and processing the detecting signal of the photoelectrical sensor of the pars basilaris ossis occipitalis of the measurement plate 20 by the image formation property operation system 11. Moreover, the location of those images and contrast are searched for, changing the focal location of the measurement plate 20 the specified quantity every. From these measurement results, the image

formation property operation system 11 calculates the amount of fluctuation of image formation properties, such as a best focus location of the projection image of projection optics PL, a curvature of field, and distortion (a scale-factor error is included). When this amount of fluctuation is supplied to the main control system 10 and that amount of fluctuation exceeds tolerance, the main control system 10 amends the image formation property of projection optics PL.

[0065] As mentioned above, since the location of reference marks MA and MB is detected and presetting of a laser interferometer 15X1, 15X2, and 15Y is performed based on this positional information by the wafer alignment sensor 16, the location of the wafer stage WST or the stage 14 for measurement can be measured with high precision with high repeatability by the laser interferometer 15X1, 15X2, and 15Y, and it can control by the projection aligner of this example. By similarly, the reticle alignment microscopes' RA and RB detecting reference marks MC1 and MC2 or the location of MD1 and MD2, and performing a laser interferometer 7X1, reset of 7X2, etc., the location of a reticle stage RST or the stage 5 for measurement can be measured with high precision, and can be controlled by high repeatability.

[0066] Next, with reference to drawing 5 - drawing 12 , it explains per gestalt of operation of the 2nd of this invention. This example applies this invention to the projection aligner of step - exposed with a double exposure method, and - scanning method. Drawing 5 shows the outline configuration of the projection aligner of this example, and sets it to this drawing 5 . The projection aligner of this example Stage equipment equipped with the wafer stages WST1 and WST2 as two or more movable stages which hold the base board 86, respectively and move independently the wafers W1 and W2 as an induction substrate in the two-dimensional direction for it, The reticle drive which drives the reticle R1 as a mask, or R2 (refer to drawing 6 ) to a predetermined scanning direction in the upper part of the projection optics PL 1 arranged above this stage equipment, and projection optics PL 1, It has the illumination system which illuminates reticles R1 and R2 from the upper part, the control system which controls these each part. The Z-axis is taken hereafter in parallel with the optical axis AX1 of projection optics PL 1, in a flat surface perpendicular to the Z-axis, in parallel with the space of drawing 5 , at right angles to the space of drawing 5 , a Y-axis is taken and the X-axis is explained. In this example, a direction (the direction of Y) parallel to a Y-axis is a scanning direction.

[0067] First, surfacing support was carried out through the non-illustrated air bearing on the base board 86, and stage equipment is equipped with wafer stage drive-system 81W which drive independently two freely movable wafer stages WST1 and WST2 and these wafer stages WST1 and WST2 in the direction of X, and the direction of Y, and the interferometer systems which measure the location of the wafer stages WST1 and WST2.

[0068] If this is explained further in full detail, the non-illustrated air pad (for example, vacuum precompression mold air bearing) is prepared in the base of the wafer stages WST1 and WST2 at two or more places, and where spacing of several micrometers is maintained by balance of air \*\*\*\*\* of this air pad, and a vacuum precharge pressure, surfacing support of the wafer stages WST1 and WST2 is carried out on the base board 86.

[0069] Drawing 7 shows the drive of the wafer stages WST1 and WST2, and the X-axis linear guides 95A and 95B of two prolonged in the direction of X are formed in parallel on the base board 86 in this drawing 7 . Along with the X-axis linear guides 95A and 95B, 1 set of permanent magnets for linear motors are being fixed, respectively, and two migration members 93A and 93C and two migration members 93B and 93D are attached free [ migration ] along with these X-axis linear guides 95A and 95B, respectively. The non-illustrated drive coil is attached in the bottom surface part of these four migration members 93A-93D, respectively so that X-axis linear guide 95A or 95B may be surrounded from the upper part and the side, and the linear motor of the moving coil type which drives each migration members 93A-93D in the direction of X by these drive coils, X-axis linear guide 95A, or 95B is constituted, respectively. So, in the following explanation, these migration members 93A-93D shall be called a "X-axis linear motor" for convenience.

[0070] Among these, two X-axis linear motors 93A and 93B are formed in the both ends of Y-axis linear guide 94A prolonged in the direction of Y, and are being fixed to the both ends of Y-axis linear guide 94B to which remaining two X-axis linear motors 93C and 93D are also prolonged in the direction of Y. 1 set of drive coils for linear motors are being fixed to the Y-axis linear guides

94A and 94B along the direction of Y, respectively. Therefore, Y-axis linear guide 94A is driven in the direction of X along with the X-axis linear guides 95A and 95B with the X-axis linear motors 93A and 93B, and Y-axis linear guide 94B is driven in the direction of X along with the X-axis linear guides 95A and 95B with the X-axis linear motors 93C and 93D.

[0071] On the other hand, 1 set of permanent magnets which are not illustrated [ which surround one Y-axis linear guide 94A from the upper part and the side ] are prepared in the pars basilaris ossis occipitalis of the wafer stage WST1, and the linear motor of the MUBINGU magnet mold which drives the wafer stage WST1 in the direction of Y by this permanent magnet and Y-axis linear guide 94A is constituted. The linear motor of the MUBINGU magnet mold which similarly drives the wafer stage WST2 in the direction of Y by 1 set of permanent magnets which are not illustrated [ which were prepared in the pars basilaris ossis occipitalis of the wafer stage WST2 ] and Y-axis linear guide 94B is constituted.

[0072] That is, the stage system which carries out independently the two-dimensional drive of the wafer stages WST1 and WST2 on XY flat surface with the permanent magnet which is not illustrated [ of the pars basilaris ossis occipitalis of the X-axis linear guides 95A and 95B mentioned above, the X-axis linear motors 93A-93D, the Y-axis linear guides 94A and 94B, and the wafer stages WST1 and WST2 ] consists of these examples. These wafer stages WST1 and WST2 are controlled by the stage control unit 38 through stage drive-system 81W of drawing 5 . Actuation of the stage control unit 38 is controlled by the main control unit 90.

[0073] In addition, it is also possible to make the wafer stage WST1 generate very small yawing by changing a little the balance of the thrust of the X-axis linear motors 93A and 93B of the pair prepared in the both ends of Y-axis linear guide 94A, or to remove. Similarly, by changing the balance of the thrust of the X-axis linear motors 93C and 93D of a pair a little, the wafer stage WST2 can be made to be able to generate very small yawing, or it can also remove on it. On these wafer stages WST [ WST1 and ] 2, wafers W1 and W2 are being fixed by vacuum adsorption etc. through the non-illustrated wafer holder, respectively. The minute drive of the wafer holder is carried out by the non-illustrated Z-theta drive in a Z direction and the direction (surrounding hand of cut of the Z-axis) of theta.

[0074] Moreover, the side faces of the direction of -X of the wafer stage WST1 and the direction of +Y are the reflectors 84X and 84Y (refer to drawing 6 ) where mirror plane finishing was made, and the side faces of the direction of +X of the wafer stage WST2 and the direction of +Y are the reflectors 85X and 85Y where mirror plane finishing was made similarly. These reflectors support the migration mirror and it is projected on the measurement beam 92X2 which consists of a laser beam, 92X5, and 92Y1-92Y from each laser interferometer which constitutes the interferometer systems later mentioned to these reflectors. By receiving the reflected light with each laser interferometer, the variation rate from the datum level (generally a reference mirror is arranged on a projection optics side face or the side face of alignment optical system, and let that be datum level) of each reflector is measured. By this The two-dimensional location of the wafer stages WST1 and WST2 is measured, respectively. In addition, the interferometer structure of a system is explained in full detail behind.

[0075] In drawing 5 , it consists of two or more lens element which has the common optical axis of a Z direction as projection optics PL 1, and the contraction scale factor predetermined by the both-sides tele cent rucksack, for example, the dioptric system which has 1/5, is used. In addition, reflective refractive media and a reflective system may be used as projection optics PL 1. The alignment systems 88A and 88B of the off-axis (off-axis) method which had the same function in the both sides of the direction of X of this projection optics PL 1 mutually as shown in drawing 5 are installed in the location which only the same distance separated from the optical axis AX1 (it is in agreement with the core of the projection image of a reticle pattern) of projection optics PL 1, respectively. These alignment systems 88A and 88B have three kinds of alignment sensors (the LSA (Laser StepAlignment) system which uses a slit-like laser beam and the FIA (Field Image Alignment) system of an image-processing method, for example, the LIA (Laser InterferometricAlignment) system which detects the diffracted light of two heterodyne beams), and can perform location measurement of the two-dimensional direction (the direction of X, and the direction of Y) of the reference mark on a reference mark plate, and the alignment mark on a wafer.

In this example, these three kinds of alignment sensors are properly used according to the purpose suitably, and the so-called search alignment which detects the location of the single dimension mark of three points on a wafer, and performs outline location measurement of a wafer, fine alignment which performs exact location measurement of each shot field on a wafer are performed.

[0076] In this case, one alignment system 88A is used for location measurement of the alignment mark on the wafer W1 held on the wafer stage WST1 etc. Moreover, alignment system 88B of another side is used for location measurement of the alignment mark on the wafer W2 held on the wafer stage WST2 etc. It is supplied to the alignment control unit 80, with the alignment control unit 80, the detecting signal from each alignment sensor which constitutes these alignment systems 88A and 88B carries out A/D (analog to digital) conversion of the supplied detecting signal, carries out data processing of the digitized wave signal, and detects a mark location. This detection result is sent to a main control unit 90, and the location amendment information at the time of exposure etc. is outputted from a main control unit 90 to the stage control unit 38 according to that detection result.

[0077] Moreover, although the illustration abbreviation was carried out, the automatic focus / auto leveling measuring machine style (henceforth a "AF/AL system") for detecting the amount of defocusing from the best focus location of the exposure side of a wafer W1 (or W2) are prepared in each of projection optics PL 1 and the alignment systems 88A and 88B. Among this, the so-called multipoint AF system of an oblique incidence method is used as an AF/AL system of projection optics PL 1. And the same AF/AL system also as the alignment systems 88A and 88B is prepared. That is, in this example, it has composition which can irradiate a detection beam also by the AF/AL system used at the time of an alignment sequence to the almost same measurement field as AF/AL system used for detection of the amount of defocusing at the time of exposure. For this reason, location measurement of an alignment mark can be performed with high precision in a focus precision comparable as the time of exposure also at the time of the alignment sequence which used the alignment systems 88A and 88B. If it puts in another way, the offset (error) by the posture of a stage will not occur between the times of exposure and alignment.

[0078] Next, a reticle drive is explained with reference to drawing 5 and drawing 6. This reticle drive held the reticle R1 for the reticle base board 79 top, and is equipped with the linear motor which is not illustrated [ which holds a reticle R2 along the same migration side, and drives the movable reticle stages RST2 and these reticle stages RST1 and RST2 in the two-dimensional direction with the reticle stage RST1 movable in the two-dimensional direction of XY flat surface ], and the reticle interferometer systems which manage the location of these reticle stages RST1 and RST2.

[0079] As shown in drawing 6, it is installed in the scanning direction (the direction of Y) by the serial, and surfacing support is carried out on the reticle base board 79 through non-illustrated pneumatic bearing, and if this is explained further in full detail, these reticle stages RST1 and RST2 are constituted so that minute rotation of the minute drive of the direction of X and the direction of theta and the scan drive of the direction of Y may be made by reticle stage drive 81R (refer to drawing 5). In addition, although reticle stage drive 81R makes the driving source the same linear motor as the stage equipment for wafers, drawing 5 shows it as a mere block from from [ after / expedient / explaining ]. For this reason, in case the reticles R1 and R2 on reticle stages RST [ RST1 and ] 2 are double exposure, it is used alternatively, and it has wafers W1 and W2 and composition which can carry out a synchronous scan also about which reticles R1 and R2.

[0080] On these reticle stages RST [ RST1 and ] 2 + The migration mirrors 82A and 82B which change from the same materials (for example, ceramics etc.) as reticle stages RST1 and RST2 to the side face of the direction of X are installed in the direction of Y, respectively. It turns to the reflector of the direction of +X of these migration mirrors 82A and 82B. A laser interferometer The measurement beam 91X1 to 91X5 which consists of a laser beam is irradiated from 83X1 to 83X5. (It is only hereafter called a "interferometer") In the interferometer 83X1 to 83X5, the location of the direction of X of reticle stages RST1 and RST2 is measured by receiving the reflected light and measuring the relative displacement over a predetermined datum plane. Here, the measurement beam 91X3 from an interferometer 83X3 has two measurement beams left in the direction of Y which can carry out displacement measurement independently actual, respectively, and can measure the location and the amount of yawing (surrounding angle of rotation of the Z-axis) of the direction of X

of reticle stages RST1 and RST2 from these two measurement values.

[0081] In this example, spacing of the direction of Y of the measurement beam 91X1 to 91X5 is set up shorter than the width of face of the direction of Y of the migration mirrors 82A and 82B, and which measurement beam 91X1 to 91X5 is always irradiated by the migration mirrors 82A and 82B by this. Moreover, two measurement beams (for example, 91X1, 91X2) which adjoin at a certain time come to be irradiated by the same migration mirror (for example, 82B) at coincidence, and the interferometer 83X1 which corresponds this condition, and 83X2 can consider that the measurement range overlaps partially. By this, the measurement value of an interferometer 83X1 to 83X4 can be delivered to the measurement value of an interferometer 83X2 to 83X5 with high precision one by one like the after-mentioned. The measurement value of an interferometer 83X1 to 83X5 is supplied to the stage control device 38 of drawing 5, and in order that the stage control device 38 may amend a synchronization error with the wafer stages WST1 and WST2 based on these measurement values, the roll control of reticle stages RST1 and RST2 and position control of the direction of X are performed through reticle stage drive 81R.

[0082] On the other hand, in drawing 6, the cube corner reflectors 89A and 89B as a migration mirror of a pair are installed in the edge of the direction of -Y along the scanning direction of the 1st reticle stage RST1. And from the interferometer (un-illustrating) of the double pass method of a pair, the measurement beam (it represents with one measurement beam at drawing 6) 91Y1 which consists of two laser beams, respectively, and 91Y2 are irradiated to these cube corner reflectors 89A and 89B, and the relative displacement of the direction of Y of a reticle stage RST1 is measured to a predetermined datum plane by the interferometer of the pair which is not illustrated [ the ]. Moreover, the cube corner reflectors 89C and 89D of a pair are installed also in the edge of the direction of +Y of the 2nd reticle stage RST2. The measurement beam 91Y3 and 91Y4 (it consists of two laser beams in fact, respectively) are irradiated to these cube corner reflectors 89C and 89D from the interferometer 83Y3 of the double pass method of a pair, and 83Y4. The variation rate of the direction of Y of a reticle stage RST2 is measured by an interferometer 83Y3 and 83Y4, respectively.

[0083] The measurement value of the interferometer of these double pass methods is also supplied to the stage control device 38 of drawing 5, and the location of the direction of Y of reticle stages RST1 and RST2 is controlled based on the measurement value. That is, the interferometer systems for reticle stages are constituted from this example by the interferometer 83X1 to 83X5 which has the measurement beam 91X1 to 91X5, and the measurement beam 91Y1, 91Y2 and the measurement beam 91Y3 and the interferometer of two pairs of double pass methods which have 91Y4. In addition, an interferometer 83X1 to 83X5 is expressed by drawing 5 by the interferometer 83, and the migration mirrors 82A and 82B and the measurement beam 91X1 to 91X5 are expressed by drawing 5 by the migration mirror 82 and measurement beam 91X, respectively.

[0084] Next, the interferometer systems which manage the location of the wafer stages WST1 and WST2 are explained with reference to drawing 5 - drawing 7. As shown in drawing 5 - drawing 7, in accordance with the shaft parallel to the X-axis, the measurement beam 92X2 which consists of an interferometer 87X2 from the laser beam of three shafts is irradiated by reflector 84X of the side face of the direction of -X of the wafer stage WST1 through the core (optical axis AX1) of the projection image of projection optics PL 1, and each detection core of the alignment systems 88A and 88B. Similarly, the measurement beam 92X5 which consists of a laser beam of three shafts is irradiated by reflector 85X of the side face of the direction of +X of the wafer stage WST2 from the interferometer 87X5. In an interferometer 87X2 and 87X5, the relative displacement to the direction of X from the criteria location of each reflector is measured by receiving those reflected lights.

[0085] As shown in drawing 6, in this case, the measurement beam 92X2 and 92X5 Since it is the laser beam of three shafts which can perform displacement measurement mutually-independent, respectively, the corresponding interferometer 87X2 and 87X5 Tilt angle (surrounding angle of rotation of Y-axis) measurement of each stage and measurement of a yawing angle (angle of rotation of the circumference of the Z-axis) can be carried out besides measuring the location of the direction of X of the wafer stages WST1 and WST2, respectively. In this case, although Z and the leveling stages LS1 and LS2 for performing the drive of the minute drive to the Z direction of wafers W1 and W2 and a tilt angle and the surrounding rotation drive of the Z-axis, respectively are established in

the wafer stages WST1 and WST2 of this example as shown in drawing 6 , Z and the leveling stages LS1 and LS2 are in a part lower than Reflectors 84X and 85X in fact. Therefore, the monitor of all the amounts of drives in the case of tilt angle control of wafers W1 and W2 and yawing angle control can be carried out by these interferometers 87X2 and 87X5.

[0086] In addition, the measurement beam 92X2 of the X-axis and 92X5 are always irradiated by the reflectors 84X and 85X of the wafer stages WST1 and WST2 throughout the successive range of the wafer stages WST1 and WST2. Therefore, in any [ at the time of the exposure which used projection optics PL 1, or use of the alignment systems 88A and 88B etc. ] case, about the direction of X, the location of the direction of X of the wafer stages WST1 and WST2 is managed based on the measurement beam 92X2 and the measurement value which used 92X5.

[0087] Moreover, as shown in drawing 6 and drawing 7 , the side face of the direction of +Y of the wafer stages WST1 and WST2 is processed on the reflectors 84Y and 85Y as a migration mirror, and the measurement beam 92Y3 parallel to a Y-axis is irradiated by Reflectors 84Y and 85Y from the interferometer 87Y3 through the optical axis AX1 of projection optics PL 1. Moreover, the measurement beam 92Y1 parallel to a Y-axis, the interferometer 87Y1 which has 92Y5, respectively, and 87Y5 are prepared through each detection core of the alignment systems 88A and 88B. In this example, the measurement value of the interferometer 87Y3 with the measurement beam 92Y3 is used for location measurement of the direction of Y of the wafer stages WST1 and WST2 at the time of the exposure using projection optics PL 1, and an interferometer 87Y1 or the measurement value of 87Y5 is used for location measurement of the wafer stage WST1 at the time of use of alignment system 88A or 88B, or the direction of Y of WST2, respectively.

[0088] Therefore, the measurement beam of the interferometer 87Y1 of a Y-axis, 87Y3, and 87Y5 may separate according to each service condition from the reflectors 84Y and 85Y of the wafer stages WST1 and WST2. Therefore, in this example, the interferometer 87Y2 which has the measurement beam 92Y2 parallel to a Y-axis between an interferometer 87X1 and 87Y3 is formed. He is trying for the measurement beam from at least one interferometer to always be irradiated by the reflectors 84Y and 85Y of the wafer stages WST1 and WST2 between an interferometer 87Y3 and 87Y5 by forming the interferometer 87Y4 with the measurement beam 92Y4 parallel to a Y-axis. For this reason, if width of face of the direction of X of the reflectors 84Y and 85Y as a migration mirror is set to DX1, the measurement beam 92Y1, 92Y2, --, the spacing DX 2 of the direction of X of 92Y5 will be set up more narrowly than width of face DX 1. Consequently, since the case where two measurement beams adjoined in the measurement beam 92Y1 to 92Y5 are irradiated by coincidence on reflector 84Y and 85Y surely arises (it has the measurement range which overlaps partially), the measurement value is delivered to the 2nd interferometer from the 1st interferometer in that condition like the after-mentioned. Also in the direction of Y, as for the wafer stages WST1 and WST2, positioning is performed with high precision with high repeatability by this.

[0089] In addition, since the measurement beam 92Y1 for location measurement of the direction of Y, 92Y3, and 92Y5 consist of a biaxial laser beam which can separate to a Z direction, respectively and can perform location measurement independently, the corresponding interferometer 87Y1, 87Y3, and 87Y5 can also perform measurement of the surrounding tilt angle (tilt angle) of the X-axis besides the location of the direction of Y of the reflectors 84Y and 85Y for measurement, respectively. The interferometer systems which manage the two-dimensional coordinate location of the wafer stages WST1 and WST2 are constituted from this example by a total of seven interferometers of an interferometer 87X2, 87X5, and 87Y1 to 87Y5. In this example, while one side of the wafer stages WST1 and WST2 is performing the exposure sequence, another side performs wafer exchange and a wafer alignment sequence, so that it may mention later, but based on the measurement value of each interferometer, the stage control device 38 is performing the location of the wafer stages WST1 and WST2, and speed control so that there may be no mechanical interference of both stages in this case.

[0090] Next, the illumination system and control system of this example are explained based on drawing 5 . KrF and ArF which are the exposure light source in drawing 5 , or F2 etc. -- after the exposure light which consists of pulse laser light injected from the light source section 40 which consists of an excimer laser and extinction systems (extinction plate etc.) penetrates a shutter 42, a

mirror 44 deviates, it is orthopedically operated by the suitable beam diameter with the beam expanders 46 and 48, and incidence of it is carried out to the 1st fly eye lens 50. Incidence of the exposure light injected from this 1st fly eye lens 50 is carried out to the 2nd fly eye lens 58 through a lens 52, the oscillating mirror 54, and a lens 56. The exposure light injected from this 2nd fly eye lens 58 The fixed blind 62 installed in the reticle R1 (or R2) and the location [ \*\*\*\* ] is reached through a lens 60. After the cross-section configuration is specified in a predetermined configuration here, the movable blind 64 arranged in the location slightly defocused from the conjugation side with a reticle is passed. The rectangle slit-like lighting field IA (refer to drawing 6 ) is illuminated as a light of uniform illuminance distribution through relay lenses 66 and 68 the predetermined configuration on a reticle R1, and here.

[0091] Next, the control system of this example consists of the light exposure control devices 70 and stage control-device 38 grades under jurisdiction of this main control unit 90 centering on the main control unit 90 which controls the whole equipment in control. For example, in exposing the pattern of a reticle R1 to a wafer W1, direct the light exposure control device 70 to the shutter driving gear 72, it makes the shutter mechanical component 74 drive, before a synchronous scan with a reticle R1 and a wafer W1 is started, and opens a shutter 42.

[0092] Then, according to directions of a main control unit 90, a synchronous scan (scan control) with a reticle R1, a wafer W1 RST1, i.e., a reticle stage, and the wafer stage WST1 is started by the stage control device 38. This synchronous scan is performed by controlling stage drive-system 81W and reticle stage drive 81R by the stage control device 38, carrying out the monitor of the measurement value of the measurement beam 92Y3 of the interferometer systems for wafer stages mentioned above, 92X2 and the measurement beam 91Y1 of the interferometer systems for reticle stages, 91Y2, and 91X3.

[0093] And when the uniform drive of both the stages RST1 and WST1 is carried out by making a projection scale-factor ratio into a velocity ratio within a predetermined synchronization error, respectively, it directs to the laser control unit 76, and pulse luminescence is made to start in the light exposure control unit 70. By this, the lighting field IA (refer to drawing 6 ) of the rectangle of a reticle R1 is illuminated by exposure light, the image of the pattern in the lighting field IA is reduced by projection optics PL 1 by 1/5 time, and projection exposure is carried out on the wafer W1 with which the photoresist was applied to the front face. Here, compared with the pattern space on a reticle R1, the width of face of the scanning direction of the lighting field IA is narrow, it is carrying out the synchronous scan of a reticle R1 and the wafer W1, and the sequential imprint of the image of the whole surface of a pattern space is carried out to the shot field on a wafer so that clearly also from drawing 6 . In the case of this exposure, the light exposure control unit 70 is directing to the mirror driving gear 78 and making the oscillating mirror 54 drive, and reduces the illuminance unevenness by the interference fringe generated in two fly eye lenses 50 and 58.

[0094] moreover , synchronizing with the scan with a reticle R1 and a wafer W1 , drive control of the movable blind 64 be carry out by the blind control device 39 , and such synchronous operation of a series of be manage by the stage control device 38 so that the exposure light which passed through the exterior (exterior of a protection from light band ) of the pattern space on a reticle R1 may not leak near the edge section of each shot field on a wafer W1 during scan exposure . Furthermore, in a main control unit 90, when, amending the run-up starting position of the reticle stage and wafer stage which perform a synchronous scan at the time of scan exposure etc. for example, the correction value of a stage location is directed to the stage control device 38 which carries out migration control of each stage.

[0095] Next, two or more interferometers with which the measurement range overlaps partially the reticle stages RST1 and RST2 and the wafer stages WST1 and WST2 of this example as mentioned above, respectively are arranged, and it is constituted so that sequential delivery of the measurement value of an interferometer may be carried out. Below, the wafer stage WST2 of drawing 7 , the interferometer 87Y3 of two Y-axes, and 87Y4 are taken for an example, and it explains with reference to drawing 7 - drawing 10 per delivery actuation of the measurement value of an interferometer, i.e., presetting actuation of the measurement value of an interferometer.

[0096] First, if the wafer stage WST2 in the location of drawing 7 moves in the direction of -X, the measurement beam 92Y4 will not carry out incidence to reflector 85Y as a migration mirror of the

wafer stage WST2 in the middle of this migration. On the contrary, if the wafer stage WST2 moves in the direction of +X, the measurement beam 92Y3 will not carry out incidence to reflector 85Y in the middle of this migration. Then, it is necessary to measure the Y coordinate of the wafer stage WST2 in the condition that a measurement value is delivered with high precision, it uses any [ an interferometer 87Y4 and ] of 87Y3 they are, and there is repeatability between an interferometer 87Y4 and an interferometer 87Y3. For this reason, the following works are carried out in this example.

[0097] Drawing 8 (a) is the top view showing the wafer stage WST2 of drawing 7 , in this drawing 8 (a), the variation rate of the direction of X of the wafer stage WST2 is measured by the interferometer 87X5 of the X-axis, and the variation rate of the direction of Y of the wafer stage WST2 is measured by two interferometers 87Y3 and 87Y4. The spacing DX 2 of an interferometer 87Y3, the measurement beam 92Y3 of 87Y4, and the direction of X of 92Y4 is narrower than the width of face DX 1 of the direction of X of reflector 85Y of the wafer stage WST2.

[0098] Here, the interferometer 87Y4 of this example and 87Y3 are the laser interferometers of a heterodyne-interferometry method, respectively, and 2 frequency oscillation laser (for example, helium-Ne laser light source with a wavelength [ of a Zeeman effect mold ] of 633nm) which is not illustrated [ common as the light source of a measurement beam ] is used. From this 2 frequency oscillation laser, the polarization direction intersects perpendicularly mutually, and the 1st and 2nd flux of lights which have predetermined delta-frequency  $\Delta f$  (for example, about 2MHz) are injected by the same axle as a heterodyne beam. First, in this heterodyne beam, the reference sign SR of frequency  $\Delta f$  is generated by carrying out photo electric conversion, and this reference sign SR is supplied [ interference light / 1 // which branched about ten and was mixed with the analyzer ] to an interferometer 87Y4 and each phase comparator 26 (refer to drawing 9 ) in 87Y3.

[0099] Moreover, the 1st [ which was obtained by branching about 1/10 in the above-mentioned heterodyne beam, respectively ] and 2nd heterodyne beams are supplied to an interferometer 87Y3 and 87Y4, an interferometer 87Y4 uses as the measurement beam 92Y4 one side of the 2 flux of lights the flux of lights and the polarization direction of the 2nd heterodyne beam cross at right angles, and a reference beam is reflected in a non-illustrated reference mirror by making another side into a reference beam (un-illustrating). The interference light which mixed the reflected reference beam and the measurement beam 92Y4 reflected by reflector 85Y with the analyzer by carrying out photo electric conversion and by frequency  $\Delta f$  And the measurement signal S2 from which a phase changes is generated, the phase comparator 26 of drawing 9 is supplied, and in a phase comparator 26, the phase contrast  $\phi_2$  of the above-mentioned reference sign SR and a measurement signal S2 is detected with predetermined resolution (for example,  $2\pi/100$  (rad)), and is supplied to an integrator 27.

[0100] under the present circumstances, when reflector 85Y moves only  $\lambda/m$  (this example -- like -- a single pass method --  $m=2$  -- on the other hand -- a double pass method --  $m=4$ ) in the direction of Y using one or more integers  $m$ , it having been alike and having used the measurement beam 92Y3 and wavelength of 92Y4 as  $\lambda$ , that phase contrast  $\phi_2$  does  $2\pi$  (rad) change of. Moreover, it is  $0 \leq \phi_2 < 2\pi$ , and with the integrator 27 of drawing 9 , the range of phase contrast  $\phi_2$  adds 1 to the predetermined integer (it is equivalent to order of interference)  $N_2$ , in case phase contrast  $\phi_2$  crosses  $2\pi$  in the direction of +, and in case phase contrast  $\phi_2$  crosses 0 in the direction of -, it subtracts 1 from the integer  $N_2$ . And an integrator 27 sends during measurement the measurement value P2 which multiplied  $\{N_1 + \phi_2/(2\pi)\}$  by  $\lambda/m$  to the stage control unit 38 as an absolute location of the direction of Y of the wafer stage WST2.

[0101] The integer  $N_1$  fluctuated whenever similarly the phase contrast  $\phi_1$  of the measurement signal S1 obtained from the measurement beam 92Y3 and the above-mentioned reference sign SR and this phase contrast  $\phi_1$  cross  $2\pi$  or 0 also in an interferometer 87Y3, and the measurement value P1 computed from  $\lambda/m$  are sent to the stage control unit 38. That is, an interferometer 87Y3 and 87Y4 are measuring absolutely the location of the direction of Y of the wafer stage WST2 as a location within the width of face of  $\lambda/m$ , respectively.

[0102] And since the interferometer 87X5 of the X-axis of this example is equipped with two laser beams left in the direction of Y as shown in drawing 6 , it can measure the angle of rotation  $\theta_{W2}$  of the wafer stage WST2 from the difference of the measurement value of the X coordinate of

reflector 85X by these two laser beams. By then, the "initial state" which made the wafer stage WST2 stand it still so that the angle of rotation  $\theta_{W2}$  may be beforehand set to 0 in the state of drawing 8 (a) While resetting an interferometer 87Y4 and the integers N2 and N1 in 87Y3 to 0, the measurement values (initial value) P20 and P10 which multiply the phase contrast  $\phi_2$  and  $\phi_1$  measured by  $\{1/(2\pi)\}$  ( $\lambda/m$ ), and are obtained are incorporated to the stage control unit 38. [0103] and -- a stage -- a control unit -- 38 -- \*\*\*\* -- an interferometer -- 87 -- Y -- four -- 87 -- Y -- three -- a measurement value -- offset -- respectively - P -- 20 - P -- ten -- \*\*\*\*\* -- next -- an interferometer -- 87 -- Y -- four -- 87 -- Y -- three -- from -- supplying -- having -- a measurement value -- P -- two -- P -- one -- the -- offset (- P20, -P10) -- having added -- a value -- an interferometer -- 87 -- Y -- four -- 87 -- Y -- three -- being actual -- a measurement value -- P -- two - ' -- P -- one -- ' -- \*\* -- carrying out . That is, this measurement value P2' and P1' will express correctly the amount of displacement to the direction of Y of the wafer stage WST2 from the above-mentioned initial state. The initial value (P20, P10) of the measurement value is memorized.

[0104] Now, in drawing 8 (a), the wafer stage WST2 moves in the direction of -X further, and presupposes that the location shown in drawing 8 (b) was arrived at. In drawing 8 (b), the measurement beam 92Y4 of an interferometer 87Y4 has separated from reflector 85Y as a migration mirror. In this condition, the Y coordinate of the wafer stage WST2 shall be measured by the interferometer 87Y3. When the wafer stage WST2 begins migration in the direction of +X toward the location again shown in drawing 8 (a) from this condition and reflector 85Y enters in the exposure range of the measurement beam 92Y4 of an interferometer 87Y4 (measuring range), it is the following, and the measurement value of an interferometer 87Y4 is made and set up (presetting). [0105] First, the angle of rotation  $\theta_{W2}$  (it is a minute amount (rad) near about 0) of the wafer stage WST2 is measured by the measurement beam 92X5 (two laser beams) of the interferometer 87X5 of the X-axis. In this condition, the measurement value P1 of the Y coordinate by the interferometer 87Y3 using the measurement beam 92Y3 is calculated in drawing 8 (a). However, this measurement value P1 is a direct measurement value before performing offset amendment. And, for example in the stage control unit 38, the order of interference N2 (N2 is an integer) of an interferometer 87Y4 and fraction  $\epsilon_2/(2\pi)$  estimate are calculated from the measurement value P1. This fraction  $\epsilon_2$  is a value corresponding to above  $\phi_2$ .

[0106] That is, the operation part in the stage control device 38 computes estimate P2' of the measurement value P2 before offset amendment of an interferometer 87Y4 as follows from the difference ( $=P20-P10$ ) of the initial value of the measurement beam 92Y3, the spacing DX 2 of 92Y4, the measurement value  $\theta_{W2}$  of the angle of rotation of the wafer stage WST2, the measurement value P1 of an interferometer 87Y3 and an interferometer 87Y4, and the measurement value of 87Y3.

$$P2' = P1 + DX2 \text{ and } \theta_{W2} + (P20 - P10)$$

[0107] For example, when the measurement precision of the measurement value  $\theta_{W2}$  of an angle of rotation is high, this estimate P2' may be preset as it is as a value of the current measurement value P2 of an interferometer 87Y4. However, since the measurement error of a certain extent may be included in the measurement value  $\theta_{W2}$ , as for the operation part, an interferometer 87Y4 decomposes the assignment value P2' into a part for a part for an integer, and a fraction using a location being measurable absolutely per width-of-face  $\lambda/m$ . Therefore, the remaining value twice the N of die-length  $\lambda/m$  becomes fraction  $\epsilon_2/(2\pi)$  in estimate P2' of the measurement value of an interferometer 87Y4. That is, the stage control unit 38 computes an integer N2 and a fraction  $\epsilon_2$  as follows (presumption).

[0108]

$$N2 = g \{ P2' / (\lambda/m) \} (1)$$

$$\epsilon_2 = \{ P2' / (\lambda/m) - N2 \} (2\pi) (2)$$

Here,  $g \{ X \}$  is a function which gives the maximum integer which does not exceed X. In the stage control unit 38, the estimate (N2,  $\epsilon_2$ ) of the order of interference obtained from a measurement value P1 and a fraction and the preset value of the integer (degree) N2 of the phase contrast (absolute phase)  $\phi_2$  actually measured with an interferometer 87Y4 to the interferometer 87Y4 are determined so that it may explain in full detail behind.

[0109] As drawing 9 shows some stage control units 38 of this example, and some interferometers

87Y4 and shows them to drawing 9 , as for the interferometer 87Y4, it has the phase comparator 26 into which the reference sign SR outputted from the laser light source and a measurement signal S2 (photo-electric-conversion signal of the interference light of a measurement beam and a reference beam) are inputted. A phase comparator 26 detects the phase contrast  $\phi_2$  of a reference sign SR and a measurement signal S2, and the detected phase contrast  $\phi_2$  is outputted also to the computation equipment 28 in the stage control unit 38 while it is outputted to an integrator 27. In addition, other interferometers are equipped with the phase comparator 26 and the integrator 27, respectively.

[0110] An integrator 27 integrates an integer N2 from change of the phase contrast  $\phi_2$  as mentioned above at the time of measurement, and is outputting the measurement value P2 which multiplies  $\{N2 + \phi_2 / (2\pi)\}$  by  $(\lambda/m)$ , and is obtained to the stage control unit 38 as information which shows the movement magnitude of a migration mirror (this example reflector 85Y). However, when delivering a measurement value like now, computation equipment 28 compares the phase contrast  $\phi_2$  inputted from the phase comparator 26, and the estimate  $\epsilon_2$  of the fraction inputted from the above-mentioned operation part. Since the integer N2 which shows the presumed order of interference may have shifted in  $\pm 1$  when the estimate  $\epsilon_2$  of the presumed phase contrast is close to 0 (zero) or  $2\pi$ , this comparison is a thing of that verification to perform for accumulating. Actuation of this comparison is explained referring to drawing 10 . For convenience, estimate of N2 is made into Degree N in drawing 10 .

[0111] Drawing 10 (a) In - (c), an axis of abscissa expresses the phase contrast of a reference sign and a measurement signal, and is illustrating the phase contrast of the range of order-of-interference  $k=N-1$ ,  $k=N$ , and  $k=N+1$  especially.  $2\pi$  change of phase contrast is done within one degree. Drawing 10 (a) shows the case where the absolute value of a difference with the estimate  $\epsilon_2$  of the actual phase contrast  $\phi_2$  and phase contrast is smaller than  $\pi$  ( $|\phi_2 - \epsilon_2| < \pi$ ). In this case, since the actual phase contrast  $\phi_2$  is in Degree N as illustration, order of interference is N as estimate, and is taken as preset value  $N' = N$  of a degree. Drawing 10 (b) shows the case where the value which subtracted the estimate  $\epsilon_2$  of a phase from the actual phase contrast  $\phi_2$  is larger than  $\pi$  ( $\phi_2 - \epsilon_2 > \pi$ ). In this case, since the actual phase contrast  $\phi_2$  is in a degree N-1 as illustration, preset value  $N'$  is set to  $N' = N-1$ . Moreover, drawing 10 (c) shows the case where the value which subtracted the estimate  $\epsilon_2$  of a phase from the actual phase contrast  $\phi_2$  is smaller than  $-\pi$  ( $\phi_2 - \epsilon_2 < -\pi$ ). In this case, since the actual phase contrast  $\phi_2$  is in a degree N+1 as illustration, it is referred to as  $N' = N+1$ .

[0112] With computation equipment 28, preset value  $N'$  for which it asked as mentioned above is outputted as a preset value RE over the integrator 27 of drawing 9 . In an integrator 27, a preset value RE (namely,  $N'$ ) is set up as a preset value of an integer N2, the measurement value P2 of Y coordinate is computed as follows from the phase contrast  $\phi_2$  from a phase comparator 26, and integer  $N'$ , the stage control unit 38 is supplied, and the rest performs the usual measurement actuation.

$P2 = (\lambda/m)$  and  $N' + (\lambda/m) (\phi_2 / 2\pi)$  (3)

While meaning returning to the original value substantially, it means that the measurement value of an interferometer 87Y3 receives in an interferometer 87Y4 correctly, and the measurement value P2 of an interferometer 87Y4 had been passed by this.

[0113] In case the reflected light from a mirror plane sets a preset value as the 1st interferometer which came to be obtained again by this example as mentioned above The measured value computed from the measured value of other 2nd interferometer is used as estimate for determining the order of interference (N1 or N2) of the 1st interferometer. He is trying to determine the preset value of the order of interference (N1 or N2) of the 1st interferometer, as a result the preset value of the measurement value of an interferometer based on the presumed order of interference and the phase contrast (absolute phase)  $\phi$  measured with the 1st interferometer. In this case, since the measurement beam has once separated from the mirror plane, order of interference N2 or N1 is unknown, but since order of interference is calculated by count from the measured value of other interferometers, the preset value of that interferometer can be set up in the precision of that interferometer proper.

[0114] In addition, the time of equipment starting, and when a measurement error needs to mix in all

measured value by a certain cause and the measurement value of all interferometers needs to be reset, a degree  $N \neq 0$  is sent to computation equipment 28, and it is necessary to make it set the output (preset value) RE (= 0) of computation equipment 28 as an integrator 27 similarly in drawing 9. In this case, only the value corresponding to phase contrast (absolute phase)  $\phi_2$  will be set as an integrator 27 (interferometer 87Y4) despite a join office. The initial value of an interferometer 87Y3 turns into a value corresponding to phase contrast  $\phi_1$  similarly.

[0115] Moreover, you may carry out as [ feed / if needed / to computation equipment 18 / the output P2 of an integrator 27 ]. In this case, even the amount of displacement of a wafer stage after resetting, until a reset value is set as an integrator 27 from computation equipment 28 in an integrator 27 can be included, and it can be set as an integrator 27 as a preset value. In this case, when light-receiving of the reflected light from a wafer stage is attained, it can take into consideration and depend to the amount of displacement of a wafer stage until a preset value RE2 is set as an integrator 27 from from, and precise initial value can be set up.

[0116] Moreover, in this example, in case the wafer stage WST2 moves, any or one measurement beam needs to be irradiated by side-face 85Y of the wafer stage WST2 among the measurement beams from an interferometer 87Y3 to 87Y5. Therefore, in this example, the interferometer is arranged so that spacing between each measurement beam (for example, the measurement beam 92Y3 shown in drawing 8, spacing of 92Y4 (DX) 2) may become shorter than the width of face DX 1 of the direction of X of the wafer stage WST2.

[0117] Moreover, also in the interferometer 83X1 to 83X5 for performing location measurement of the reticle stages RST1 and RST2 of drawing 6, an initial value (preset value) setup of an interferometer is performed similarly, and delivery of a measurement value is performed based on this. Next, in the projection aligner of this example, the 1st and 2nd carrier system for which a wafer is exchanged among the wafer stages WST1 and WST2, respectively is formed.

[0118] As are shown in drawing 11, and the 1st carrier system is later mentioned between the wafer stages WST1 in a left-hand side wafer loading location, it performs wafer exchange. 1st loading guide 96A to which this 1st carrier system extends in Y shaft orientations, The 1st and 2nd sliders 97A and 97C which move along with this loading guide 96A, The 1st wafer loader constituted including load arm 98C attached in unload arm 98A attached in 1st slider 97A, and 2nd slider 97C, It consists of the 1st pin center, large rise 99 which consists of three vertical-movement members prepared on the wafer stage WST1.

[0119] Actuation of the wafer exchange by this 1st carrier system is explained briefly. Here, as shown in drawing 11, the case where it is exchanged in wafer W1' on the wafer stage WST1 in a left-hand side wafer loading location and the wafer W1 conveyed by the 1st wafer loader is explained. First, in a main control unit 90, vacuum adsorption of the wafer holder which is not illustrated on the wafer stage WST1 is turned OFF, and adsorption of wafer W1' is canceled. Next, in a main control unit 90, the specified quantity rise of the pin center, large rise 99 is carried out through a non-illustrated pin center, large rise drive system. Thereby, wafer W1' is raised to a predetermined location. In this condition, unload arm 98A is moved just under wafer W1' through a non-illustrated wafer loader control unit in a main control unit 90. After carrying out the downward drive of the pin center, large rise 99 to a predetermined location and delivering wafer W1' to unload arm 98A in a main control unit 90 in this condition, vacuum adsorption of unload arm 98A is made to start. Next, in a main control unit 90, evacuation of unload arm 98A and migration initiation of load arm 98C are directed to a wafer loader control unit. Thereby, unload arm 98A starts migration in the direction of -Y of drawing 11, and when load arm 98C holding a wafer W1 comes above the wafer stage WST1, a wafer W1 is received and passed on the wafer stage WST1 by vacuum adsorption of load arm 98C being canceled by the wafer loader control unit, and carrying out the rise drive of the pin center, large rise 99 continuously.

[0120] Moreover, the 2nd carrier system which delivers a wafer between the wafer stages WST2 As shown in drawing 12, symmetrically with the 1st carrier system 2nd loading guide 96B, It is constituted including load arm 98D attached in unload arm 98B attached in the sliders 97B and 97D which move along with this 2nd loading guide 96B, and 3rd slider 97B, and 4th slider 97D. Wafer W2' exposed next is held at load arm 98D.

[0121] Next, parallel processing by two wafer stages WST1 and WST2 of the projection aligner of

this example is explained with reference to drawing 11 and drawing 12. While exposing through projection optics PL 1 to the wafer W2 on the wafer stage WST2, the top view in the condition that exchange of a wafer is performed between the wafer stage WST1 and the 1st carrier system as mentioned above in the left-hand side loading location is shown in drawing 11. In this case, on the wafer stage WST1, as it mentions later succeeding to wafer exchange, alignment actuation is performed. In addition, in drawing 11, position control of the wafer stage WST1 where position control of the wafer stage WST2 under exposure actuation is performed based on the measurement beam 92X5 of interferometer systems and the measurement value of 92Y3, and wafer exchange and alignment actuation are performed is performed based on the measurement beam 92X2 of interferometer systems, and the measurement value of 92Y1. For this reason, in the main control unit 90 of drawing 5, before directing to the stage control unit 38 and carrying out wafer exchange and alignment actuation, initializing (presetting) of the measurement value of the interferometer mentioned later is carried out.

[0122] It continues at wafer exchange and initializing of an interferometer, and search alignment is performed. Only in PURIARAIMENTO made during conveyance of a wafer W1, since the position error is large, the search alignment performed after wafer exchange is PURIARAIMENTO again performed on the wafer stage WST1. The location of three search alignment marks (un-illustrating) specifically formed on the wafer W1 laid on the stage WST1 is measured using the sensor of the LSA system of alignment system 88A of drawing 5 etc., and alignment of the direction of X of a wafer W1, the direction of Y, and the direction of theta is performed based on the measurement result. Actuation of each part in the case of this search alignment is controlled by the main control unit 90.

[0123] Fine alignment which searches for the array of each shot field on a wafer W1 by the EGA (enhanced global alignment) method here is performed after termination of this search alignment. Specifically by interferometer systems (the measurement beam 92X2, 92Y1) Carrying out sequential migration of the wafer stage WST1 based on the shot array data on a design (alignment mark location data) managing the location of the wafer stage WST1 The alignment mark location of the predetermined shot field on a wafer W1 (sample shot) is measured by the sensor of the FIA system of alignment system 88A of drawing 5 etc. Based on the design coordinate data of this measurement result and a shot array, all shot array data are computed by the statistics operation by the least square method. In addition, actuation of each part in the case of the fine alignment of this EGA method is controlled by the main control unit 90 of drawing 5, and the above-mentioned operation is performed by the main control unit 90.

[0124] And while wafer exchange and alignment actuation are performed, by the wafer stage WST2 side, the reticles R1 and R2 of two sheets are used, and double exposure is continuously performed by step - and - scanning method at the wafer stage WST1 side, changing exposure conditions. Fine alignment by the EGA method is specifically beforehand performed like the wafer W1 side mentioned above. After moving the shot field on a wafer W2 to the optical-axis lower part of projection optics PL 1 one by one based on the shot array data on the wafer W2 obtained as a result, Scan exposure is performed by making a scanning direction carry out the synchronous scan of the reticle stage RST1 (or RST2) and the wafer stage WST2 of drawing 6 at every exposure of each shot field. The exposure to all the shot fields on such a wafer W2 continues also after reticle exchange, and is performed. Scan exposure is performed after carrying out specified quantity migration of the reticle stages RST1 and RST2 in the direction of +Y after performing sequential-scanning exposure to each shot field of a wafer W2 as exposure sequence of concrete double exposure using a reticle R2, and setting a reticle R1 as a run-up starting position. Since a reticle R2 differs in exposure conditions or transmission (lighting conditions, such as zona-orbicularis lighting and deformation lighting, light exposure, etc.) from a reticle R1 at this time, it is necessary to change a monograph affair based on exposure data etc. beforehand. Actuation of each part in the double exposure of this wafer W2 is also controlled by the main control unit 90.

[0125] When the direction of the wafer stage ended previously will be in a waiting state and both actuation ends the exposure sequence, and the wafer exchange and the alignment sequence which are performed in parallel on two wafer stages WST [ WST1 and ] 2 shown in drawing 11 mentioned above, migration control of the wafer stages WST1 and WST2 is carried out to the location shown in

drawing 12 . And as for the wafer W1 on the wafer stage WST1 where wafer exchange was made by the right-hand side loading position, and the alignment sequence ended the wafer W2 on the wafer stage WST2 which the exposure sequence ended, an exposure sequence is performed under projection optics PL 1. By the right-hand side loading position shown in drawing 12 , the above-mentioned wafer exchange actuation and an alignment sequence will be performed like a left-hand side loading position.

[0126] By this example, improvement in a throughput is aimed at as mentioned above by performing an exposure sequence, and wafer exchange and an alignment sequence in parallel to the wafers W1 and W2 on each wafer stage, moving independently two wafer stages WST1 and WST2 in the two-dimensional direction. However, when carrying out concurrent processing of two actuation using two wafer stages, the actuation performed on one wafer stage may affect the actuation to which it is carried out on the wafer stage of another side as a disturbance factor. Moreover, there is also actuation which does not affect the actuation to which actuation performed on one wafer stage is carried out conversely on the wafer stage of another side. So, in this example, it divides into the actuation which causes disturbance among the actuation which carries out parallel processing, and the actuation not becoming, and timing adjustment of each actuation is achieved so that actuation leading to disturbance or actuation leading to disturbance may be performed to coincidence.

[0127] For example, during scan exposure, since the synchronous scan of a wafer W1 and the reticles R1 and R2 is carried out at uniform velocity, when not becoming a disturbance factor, it is necessary to eliminate the disturbance factor of the from else as much as possible. For this reason, during the scan exposure on one wafer stage WST1, timing adjustment is made so that it may be in a quiescent state in the alignment sequence performed with the wafer W2 on the wafer stage WST2 of another side. Namely, since measurement in an alignment sequence is performed in the condition of having made the wafer stage WST2 standing it still, for scan exposure, it does not cause disturbance but can perform [ be / it / under / scan exposure / concurrency ] mark measurement. On the other hand, since it is uniform motion during scan exposure also in an alignment sequence, it does not become disturbance but high precision measurement can be performed.

[0128] Moreover, it is possible to be the same at the time of wafer exchange. Since especially vibration produced in case a wafer is delivered to a pin center, large rise from a load arm can cause disturbance, according to the time of acceleration and deceleration before and after [ before scan exposure ] coming to perform a synchronous scan at uniform velocity (it becomes a disturbance factor), it may be made to deliver a wafer. In addition, these timing adjustments are performed by the main control unit 90.

[0129] Furthermore, in this example, since double exposure is performed using the reticle of two or more sheets, the improvement effectiveness of high resolution and DOF (depth of focus) is acquired. However, in order that this double exposure method may repeat an exposure process twice [ at least ], in using a single wafer stage, the exposure time becomes long and a throughput falls sharply. However, while a throughput can improve sharply by using the projection aligner equipped with two sets of the wafer stages of this example, the improvement effectiveness of high resolution and the depth of focus DOF is acquired.

[0130] In addition, also when the applicability of this invention is not limited to this and exposed by the single exposing method, this invention can be applied suitably. By using two sets of wafer stages, an almost double high throughput can be obtained compared with the case where the single exposing method is enforced using one wafer stage. In addition, you may make it prepare further the stage for measurement for measuring the condition or image formation property of exposure light like the gestalt of the 1st operation in the gestalt of this 2nd operation. Moreover, although the wafer stage is driven with the combination of a 1-dimensional motor, you may make it drive two-dimensional by the flat-surface motor like the gestalt of the 1st operation in this example.

[0131] The projection aligner of the gestalt of this operation can perform optical adjustment of the projection optics PL (PL1) which consists of two or more lenses, and can manufacture it by carrying out comprehensive adjustments (electric adjustment, check of operation, etc.) further while it assembles the reticle stage RST (RST1, RST2) which consists of many machine parts, and the wafer stage WST (WST1, WST2). In addition, as for manufacture of a projection aligner, it is desirable to carry out in the clean room where temperature, an air cleanliness class, etc. were managed.

[0132] Moreover, although this invention was applied to the projection aligner of step - and - scanning method, this invention is not restricted to this, but even if it is a charged-particle line aligner which makes the aligner which uses EUV light, such as a projection aligner of a step-and-repeat method, an aligner of a pro squeak tee method, or an X-ray, as an exposure beam, and an electron ray (energy line) the light source (energy line), it is applicable [ this invention ] with the gestalt of the above-mentioned operation, similarly. Moreover, you may use for the test equipment which uses the stage for positioning not only an aligner but a wafer etc., or repair equipment.

[0133] In addition, of course, configurations various in the range which this invention is not limited to the gestalt of above-mentioned operation, and does not deviate from the summary of this invention can be taken.

[0134]

[Effect of the Invention] According to the 1st stage equipment of this invention, by preparing a movable stage, respectively for every function according to individual, and two or more predetermined functional groups of every, each movable stage can be made to be able to miniaturize and it can drive at high speed and with high precision. Moreover, two or more movable stages can be moved in the respectively larger range than the measurement range of the 1st system of measurement, and further, when each movable stage goes into measurement within the limits of the 1st system of measurement, the location of the movable stage can be measured with high precision with high repeatability according to the 1st system of measurement.

[0135] Next, according to the 2nd stage equipment of this invention, it is the respectively large measurement range, and the location of two or more of the movable stages can be measured with high precision with high repeatability. Moreover, since the location of the movable stage is measurable with high precision with the 1st system of measurement only by doubling the measurement result of the 1st system of measurement with the measurement result of the 2nd system of measurement, improvement in a throughput can be aimed at.

[0136] Next, according to the 1st aligner of this invention, since it has stage equipment of this invention, for example, when measuring the location of the movable stage with an interferometer, a migration mirror can be made smaller than the successive range of the movable stage, and weight of the movable stage can be made small. Therefore, it can become easy to move the movable stage to a high speed, it can expose using a double exposure method etc. by the high throughput, and improvement in resolution and the depth of focus can be aimed at.

[0137] Next, according to the 2nd aligner of this invention, since magnitude of the 1st movable stage is made to necessary minimum by giving only the minimum function required for exposure to the 1st movable stage used for original exposure, miniaturization of a stage and lightweight-ization are performed, improvement in a throughput is aimed at and the thing of it can be carried out. On the other hand, there is no direct need in exposure, and since the property metering device for measuring the property at the time of imprinting the pattern of the mask is carried in 2nd another movable stage, it can also measure the property at the time of imprinting the pattern of the mask. Moreover, since it has stage equipment of this invention, the location of two or more of the movable stages is measurable with high precision.

[0138] Next, according to the 3rd aligner of this invention, performing exposure actuation on one movable stage of two or more of the movable stages, for example, carrying-in taking out and alignment actuation of a substrate can be performed, and improvement in a throughput can be aimed at on another movable stage. Next, according to the 4th aligner of this invention, by giving only the minimum function required for exposure to the 1st movable stage used for original exposure, miniaturization of the 1st movable stage and lightweight-ization can be performed, and improvement in a throughput can be aimed at. On the other hand, there is no direct need in exposure, and since the property metering device for measuring the image formation property of the projection optics is carried in 2nd another movable stage, it can also measure an image formation property.

[0139] Next, according to the 1st positioning approach of this invention, quickly, the location of two or more of the movable stages can be measured with high precision, and can be positioned. Similarly, according to the 2nd positioning approach of this invention, quickly, the location of two or more of the movable stages can be measured with high precision, and can be positioned.

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

**JPO and NCIPi are not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the outline block diagram of the projection aligner of the gestalt of operation of the 1st of this invention.

[Drawing 2] It is the top view showing the wafer stage WST and the stage 14 for measurement of drawing 1 .

[Drawing 3] It is the top view showing the reticle stage RST and the stage 5 for measurement of drawing 1 .

[Drawing 4] In the gestalt of the 1st operation, it is the top view with which the explanation in the case of measuring the condition of exposure light etc. using the stage 14 for measurement is presented.

[Drawing 5] It is the outline block diagram of the projection aligner of the gestalt of operation of the 2nd of this invention.

[Drawing 6] It is the perspective view showing the physical relationship of two wafer stages WST1 and WST2 of the gestalt of operation of drawing 5 , two reticle stages RST1 and RST2, and the projection optics PL 1 and the alignment systems 88A and 88B.

[Drawing 7] It is the top view showing the configuration of the drive of the wafer stage of drawing 5 .

[Drawing 8] It is drawing for explaining a measurement value setup of the interferometer carried out in the gestalt of operation of the 2nd of this invention.

[Drawing 9] It is drawing showing the outline configuration of a part of signal-processing system used for the interferometer systems of the gestalt of operation of the 2nd of this invention.

[Drawing 10] It is drawing showing an example of signal processing in the interferometer systems of the gestalt of operation of the 2nd of this invention.

[Drawing 11] It is the top view showing the condition that wafer exchange and the alignment sequence, and the exposure sequence are performed using two wafer stages WST1 and WST2.

[Drawing 12] It is drawing showing the condition of having switched with wafer exchange and the alignment sequence of drawing 11 , and the exposure sequence.

[Description of Notations]

MA, MB, MC1, MC2, MD1, MD2 -- A reference mark, R, R1, R2 -- Reticle, RA, RB -- A reticle alignment microscope, RST, RST1, RST2 -- Reticle stage, W, W1, W2 -- A wafer, WST, WST1, WST2 -- Wafer stage, 5 -- The stage for measurement, 7X1, 7X2, 7Y and 8Y, 15X1, 15X2, 15Y -- Laser interferometer, 10 [ -- The stage for measurement, ] -- A main control system, 11 -- An image formation property operation system, 13 -- A surface plate, 14 16 -- A wafer alignment sensor, 26 -- A phase comparator, 27 -- Integrator, 28 [ -- An alignment system, 90 / -- Main control unit ] -- Computation equipment, 38 -- A stage control unit, 83X1 to 83X5, 83Y1 to 83Y4, 87X2, 87X5, 87Y1 to 87Y5 -- An interferometer, 88A, 88B

---

[Translation done.]

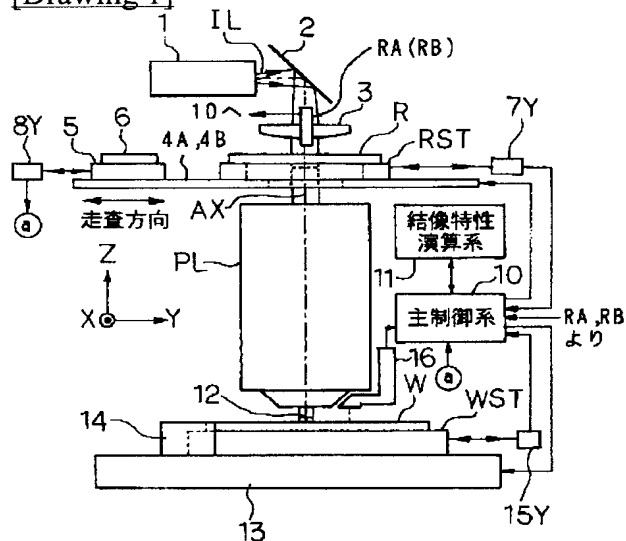
## \* NOTICES \*

JPO and NCIPI are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

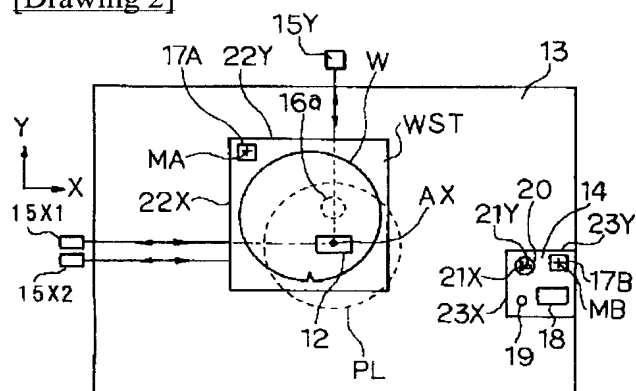
- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

## DRAWINGS

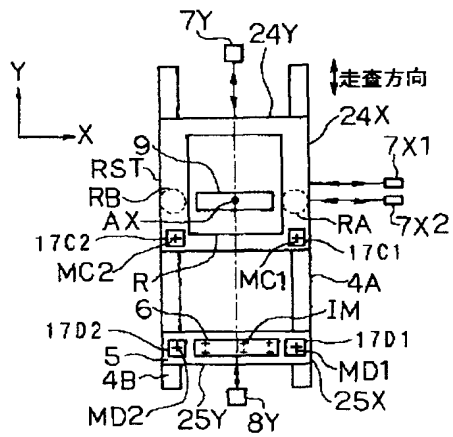
[Drawing 1]



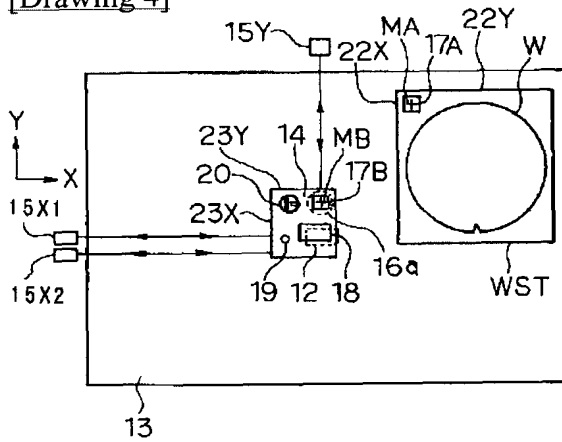
[Drawing 2]



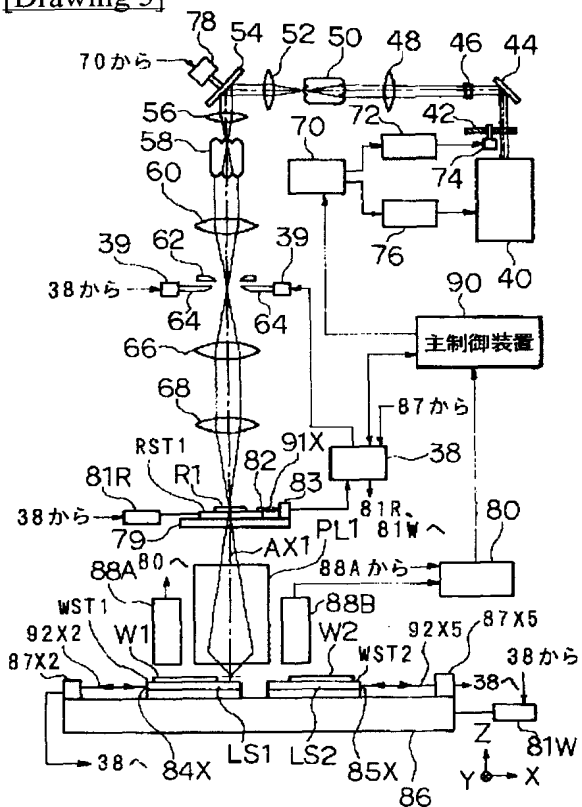
[Drawing 3]



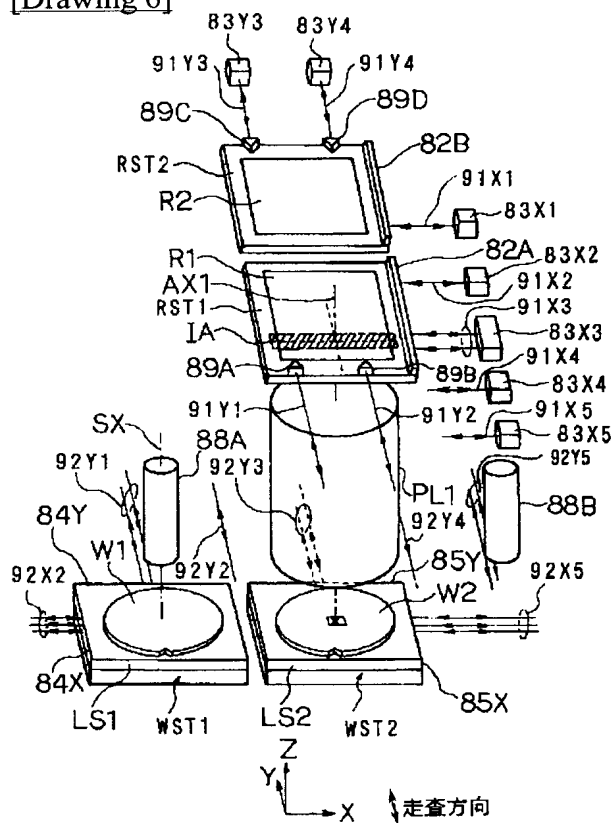
[Drawing 4]



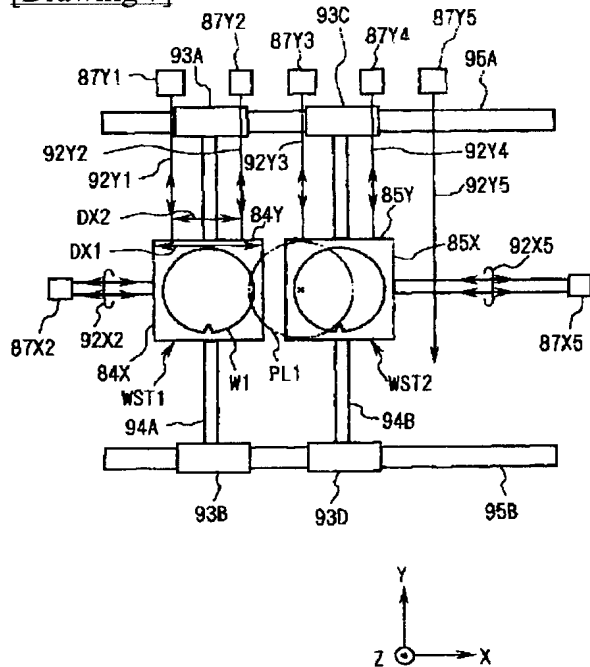
[Drawing 5]



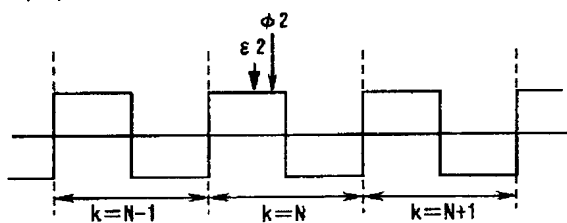
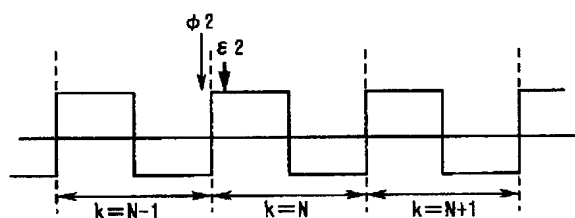
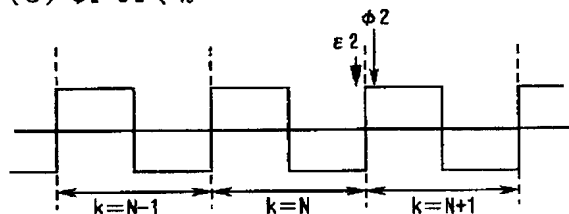
[Drawing 6]



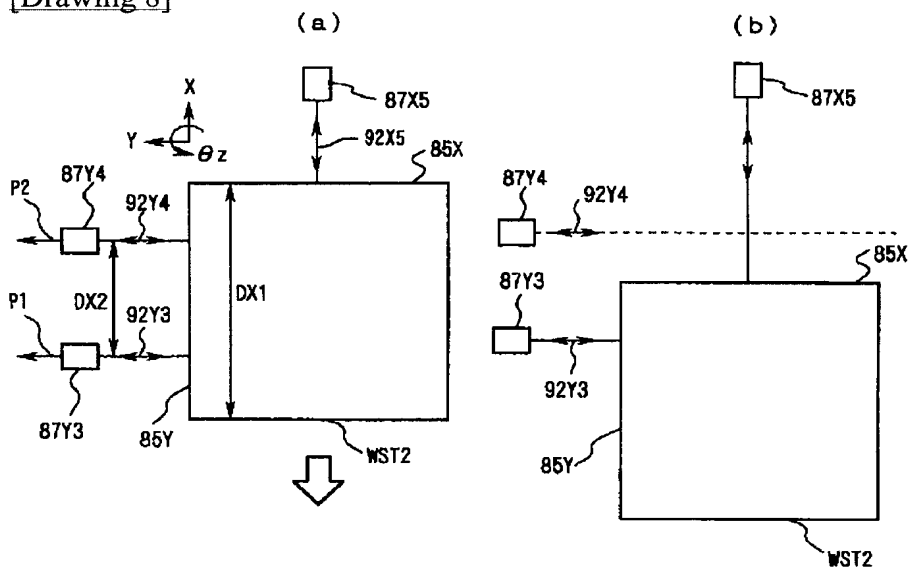
[Drawing 7]



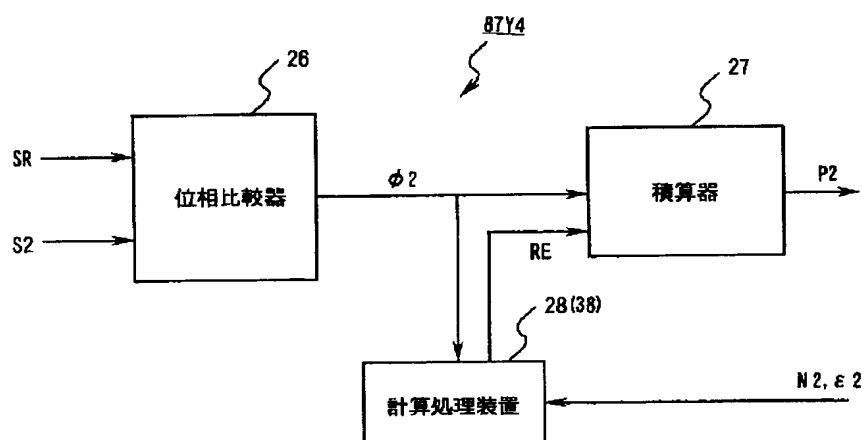
[Drawing 10]

(a)  $|\phi_2 - \varepsilon_2| < \pi$ (b)  $\phi_2 - \varepsilon_2 > \pi$ (c)  $\phi_2 - \varepsilon_2 < -\pi$ 

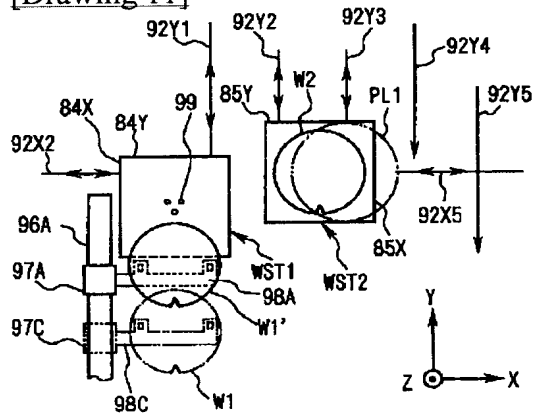
[Drawing 8]



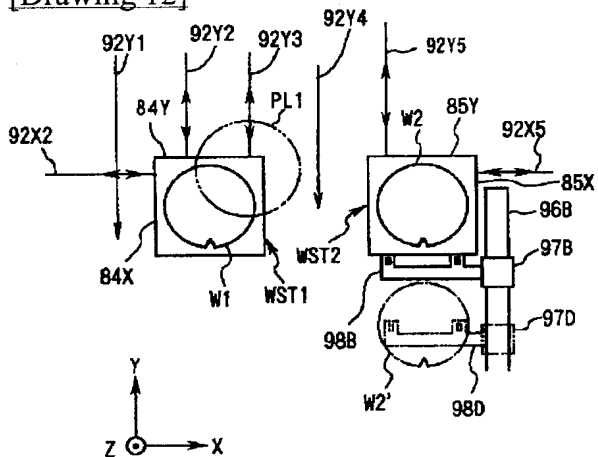
[Drawing 9]



[Drawing 11]



[Drawing 12]



[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

# (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2000-164504

(P 2 0 0 0 - 1 6 4 5 0 4 A)  
(43) 公開日 平成12年6月16日 (2000. 6. 16)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup> 識別記号  
H01L 21/027  
G03F 7/23  
9/00

F I テーマコード (参考)  
H01L 21/30 503 A 2H097  
G03F 7/23 H 5F046  
9/00 A

審査請求 未請求 請求項の数9 O L (全24頁)

(21) 出願番号 特願平10-339789  
(22) 出願日 平成10年11月30日 (1998. 11. 30)

(71) 出願人 000004112  
株式会社ニコン  
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号  
(72) 発明者 谷口 哲夫  
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内  
(72) 発明者 神谷 三郎  
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内  
(74) 代理人 100098165  
弁理士 大森 聡

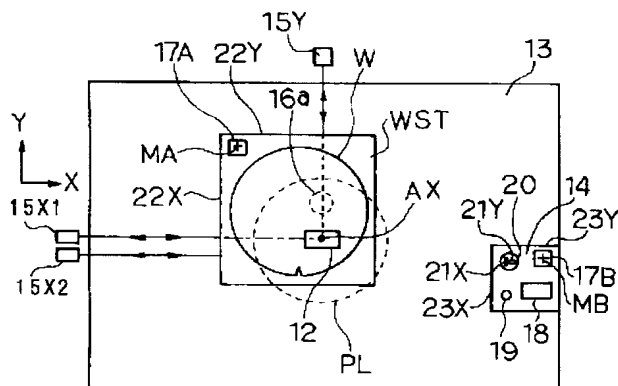
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ステージ装置、露光装置、及び前記ステージ装置を用いた位置決め方法

## (57) 【要約】

【課題】 ステージの移動範囲を、そのステージの位置を計測する干渉計の計測範囲よりも大きくし、かつそのステージの位置を高精度に計測する。

【解決手段】 ウエハステージWSTが、側面の移動鏡22X、22Yにレーザ干渉計15X1、15X2、15Yからのレーザビームが照射されない位置から移動して、レーザ干渉計15X1、15X2、15Yの計測範囲内に入った際に、基準マークMAの位置をウエハアライメントセンサにより計測し、この計測結果に基づいてレーザ干渉計15X1、15X2、15Yの計測値の補正を行う。また、計測用ステージ14が、レーザ干渉計15X1、15X2、15Yの計測範囲内に入った際にも、同様に基準マークMBの位置をウエハアライメントセンサにより計測し、この計測結果に基づいてレーザ干渉計15X1、15X2、15Yの計測値の補正を行う。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 所定の移動面に沿って互いに独立に移動自在に配置された複数の可動ステージと、前記複数の可動ステージの内の一つの可動ステージの位置を所定の計測範囲内で計測する第 1 測定系と、を備えたステージ装置であって、前記複数の可動ステージのそれぞれに対して、該可動ステージの前記計測範囲内の所定の基準位置からの位置ずれ量、又は前記基準位置に対する合致度を計測する第 2 測定系、を備え、前記第 2 測定系の計測結果に基づいて前記第 1 測定系の計測値の補正を行うことを特徴とするステージ装置。

【請求項 2】 所定の移動面に沿って互いに独立に移動自在に配置された複数の可動ステージと、前記複数の可動ステージの内の一つの可動ステージの位置を所定の第 1 の計測範囲内で計測する第 1 測定系と、を備えたステージ装置であって、前記複数の可動ステージのそれぞれに対して、前記第 1 の計測範囲と部分的に重複する第 2 の計測範囲内で位置を連続的に計測する第 2 測定系と、前記第 1 及び第 2 測定系の計測結果に基づいて該 2 つの測定系の計測結果を補正する制御系と、を設けたことを特徴とするステージ装置。

【請求項 3】 請求項 2 記載のステージ装置であって、前記第 1 測定系は干渉計であり、前記第 2 測定系は、順次部分的に重複する計測範囲を有する複数の干渉計であることを特徴とするステージ装置。

【請求項 4】 請求項 1、2、又は 3 記載のステージ装置を備えた露光装置であって、前記ステージ装置の前記複数の可動ステージに互いに異なるパターンが形成されたマスクを載置し、前記複数の可動ステージ上のマスクのパターンを交互に位置決めを行いながら基板上に転写することを特徴とする露光装置。

【請求項 5】 請求項 1、2、又は 3 記載のステージ装置を備えた露光装置であって、前記ステージ装置の前記複数の可動ステージの第 1 の可動ステージ上にマスクを載置し、第 2 の可動ステージ上に前記マスクのパターンを転写する際の特性を計測するための特性計測装置を載置し、前記マスクのパターンを基板上に転写することを特徴とする露光装置。

【請求項 6】 請求項 1、2、又は 3 記載のステージ装置を備えた露光装置であって、前記ステージ装置の前記複数の可動ステージ上にそれぞれ基板を載置し、前記複数の可動ステージを交互に露光位置に位置決めしながら、前記複数の基板上に交互に所定のマスクパターンを露光することを特徴とする露光装置。

【請求項 7】 請求項 1、2、又は 3 記載のステージ装置と、投影光学系と、を備えた露光装置であって、前記ステージ装置の前記複数の可動ステージの第 1 の可動ステージ上に基板を載置し、第 2 の可動ステージ上に前記投影光学系の結像特性を計測するための特性計測装置を載置し、前記第 1 の可動ステージ上の基板上に所定のマスクパターンを前記投影光学系を介して露光することを特徴とする露光装置。

10 【請求項 8】 請求項 1 記載のステージ装置を用いた位置決め方法であって、前記複数の可動ステージの内の一つの可動ステージが前記第 1 測定系の計測範囲内に入った際に、該可動ステージの前記計測範囲内の所定の基準位置からの位置ずれ量、又は前記基準位置に対する合致度を前記第 2 測定系により計測し、該計測結果に基づいて前記第 1 測定系の計測値の補正を行うことを特徴とするステージ装置を用いた位置決め方法。

20 【請求項 9】 請求項 2、又は 3 記載のステージ装置を用いた位置決め方法であって、前記複数の可動ステージの内の一つの可動ステージが前記第 2 の計測範囲側から前記第 1 の計測範囲内に入る際に、前記第 1 及び第 2 測定系によって同時に前記可動ステージの位置を計測し、該計測結果に基づいて前記第 1 測定系の計測結果を前記第 2 測定系の計測結果に合わせることを特徴とするステージ装置を用いた位置決め方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0 0 0 1】

30 【発明の属する技術分野】本発明は、例えば加工対象物等を位置決めするためのステージ装置、及びそのステージ装置を備え、半導体素子、液晶表示素子、又は薄膜磁気ヘッド等を製造するためのリソグラフィ工程でマスクパターンを基板上に転写する際に使用される露光装置に関し、特に結像特性計測機構等の種々の機構を備えた露光装置に使用して好適なものである。

## 【0 0 0 2】

40 【従来の技術】半導体素子等を製造する際に使用される一括露光型（ステッパー型）、又は走査露光型（ステップ・アンド・スキャン方式等）の露光装置には高い露光精度が要求されている。そのため、従来より露光装置においては、マスクとしてのレチクルを載置して位置決めするレチクルステージ、又は基板としてのウエハを載置して 2 次元移動するウエハステージには、それぞれその側面に移動鏡が固定されており、レーザ干渉計等の干渉計からその移動鏡に計測ビームを照射することによって、当該ステージの移動量が常時連続的に測定され、この測定値に基づいて高精度にステージの位置決めが行えるようになっている。このようなステージ装置においては通常は、可動ステージの 2 次元方向の移動成分、及び

回転成分という 3 自由度の変位計測を 3 軸の干渉計により実現している。

【0 0 0 3】ところが、このような従来のステージ装置では、可動ステージの最大移動範囲（可動範囲）の全ての領域で各干渉計からの測定ビームが常に移動鏡にそれぞれ照射されている必要があるため、移動鏡は、可動ステージが移動しても各干渉計からの測定ビームを反射し続けるように、その寸法は可動範囲より大きくしておく必要があった。

【0 0 0 4】このため、可動ステージの可動範囲を広げようとする、大型の移動鏡が必要になり、それに伴ってステージ全体の形状も大きくならざるを得ず、そのためステージが重くなってしまい高速で移動させることが困難になるという問題が生じる。また、大型の移動鏡を所定の平面度で加工するには多大な技術的困難が伴い、さらに、大きな移動鏡に撓みを生じさせずに可動ステージの側面に固定することも技術的には多大の困難がある。ところが、移動鏡の平面度の低下は、干渉計によるステージの位置決め精度の低下に直接的につながるため、最終的に可動ステージの可動範囲を制限せざるを得ないという問題が生じている。

【0 0 0 5】このような問題を解決するためのステージ装置として、例えば特開平 7 - 2 5 3 3 0 4 号公報に開示されているものがある。この開示されたステージ装置は、可動ステージの変位の自由度の数（例えば、3 自由度とする）よりも多い数の干渉計（例えば、4 軸）を設置することによって、一の干渉計からの測定ビームが移動鏡の測定範囲から外れても、残りの干渉計により当該ステージの移動の自由度分の測定ができるようにしている。そして、移動鏡から外れたその一の干渉計の測定範囲内に再度移動鏡が入ったら、残りの干渉計での測定値をその一の干渉計の初期値として設定することにより、その一の干渉計により可動ステージの移動量を測定できるようにして、移動鏡の大きさを可動ステージの可動範囲よりも小さくしている。

【0 0 0 6】また、これらの露光装置では、常に適正な露光量で、且つ高い結像特性を維持した状態で露光を行う必要があるため、レチクルの位置決めを行うレチクルステージ、又はウエハの位置決めを行うウエハステージには、露光光の照度等の状態、及び投影倍率等の結像特性を計測するための計測装置が備えられている。例えばウエハステージに備えられている計測装置としては、投影光学系に対する露光光の入射エネルギーを計測するための照射量モニタ、及び投影像の位置やコントラスト等を計測するための空間像検出系等がある。一方、レチクルステージ上に備えられている計測装置としては、例えば投影光学系の結像特性計測用に用いられる指標マークが形成された基準板がある。

【0 0 0 7】

【発明が解決しようとする課題】上記の如く従来の露光

装置においては、レチクルステージ、又はウエハステージに設けられた計測装置を用いて、露光量の適正化が図られると共に、高い結像特性が維持されていた。これに対して、最近の露光装置には、半導体素子等を製造する際の露光工程のスループット（生産性）を高めることも要求されている。スループットを向上させるための方法としては、単位時間当たりの露光エネルギーを増加させる方法の他に、ステージの駆動速度を大きくして、一括露光型ではステッピング時間を短縮し、走査露光型ではステッピング時間及び走査露光時間を短縮する方法がある。

【0 0 0 8】このようにステージの駆動速度を向上させるには、ステージ系が同じ大きさである場合にはより大きい出力の駆動モータを使用すればよく、逆に従来と同じ出力の駆動モータで駆動速度を向上させるには、ステージ系を小型化、軽量化する必要がある。ところが、前者のようにより大きい出力の駆動モータを使用すると、その駆動モータから発生する熱量が増大する。このように増大する熱量は、ステージ系の微妙な熱変形を生じて、露光装置で要求されている高い位置決め精度が得られなくなる恐れがある。そこで、位置決め精度の劣化を防止して、駆動速度を向上するには、後者のようにステージ系をできるだけ小型化、軽量化することが望まれる。

【0 0 0 9】特に、走査露光型の露光装置では、駆動速度の向上によって走査露光時間も短縮されてスループットが大きく改善されると共に、ステージ系の小型化によってレチクルとウエハとの同期精度も向上して、結像性能や重ね合わせ精度も向上するという大きな利点がある。ところが、従来のようにレチクルステージ、又はウエハステージに各種計測装置が備えられている場合には、ステージを小型化するのは困難である。

【0 0 1 0】更に、レチクルステージ、又はウエハステージに露光光の状態、又は結像特性等を計測するための計測装置が備えられている場合、その計測装置には通常アンプ等の熱源が付属していると共に、計測中に露光光の照射によってその計測装置の温度が次第に上昇する。その結果、レチクルステージ、又はウエハステージが微妙に熱変形して、位置決め精度や重ね合わせ精度等が劣化する恐れもある。現状では、計測装置の温度上昇による位置決め精度等の劣化は僅かなものであるが、今後、半導体素子等の回路パターンが一層微細化するにつれて、計測装置の温度上昇の影響を抑制する必要性が高まると予想される。

【0 0 1 1】これに関して、前述の特開平 7 - 2 5 3 3 0 4 号公報に開示されたステージ装置を使用することによって、可動ステージの可動範囲に比べて移動鏡の長さを小さくすることができるが、この場合でも可動ステージ自体の小型化にはあまり寄与できない。従って、露光工程のスループットの向上、及び露光光の照射熱の影響

の軽減を図るためには、更に別の工夫が必要である。

【0012】また、露光装置、特に投影露光装置では、スループット向上の他に解像度、焦点深度(DOF: Depth of Focus)、及び線幅制御精度等を向上させることも求められている。ここで、露光波長を $\lambda$ とし、投影光学系の開口数をN.A.とすると、解像度Rは $\lambda / N.A.$ に比例し、焦点深度DOFは $\lambda / (N.A.)^2$ に比例する。このため、解像度Rを向上させる(Rの値を小さくする)ために、単に露光波長 $\lambda$ を小さくして、開口数N.A.を大きくすると、焦点深度DOFが小さくなり過ぎてしまう。

【0013】これに関して、デバイスを製造するためには、ライン・アンド・スペース(L/S)パターンのような周期的パターン、及びコンタクトホール(CH)パターンのような孤立のパターン等が組み合わさったパターンをウエハ上に形成する必要がある。そして、最近、例えば周期的パターンに関しては、特開平4-225514号公報に開示されているように、いわゆる変形照明法によって焦点深度を狭くすることなく、解像度を向上させる技術が開発されている。また、位相シフトレチクル法も開発されている。同様に、孤立のパターンに関しても、例えば照明光のコヒーレンスファクタを制御する等の方法で実質的に焦点深度等を向上させる技術が開発されている。

【0014】このような技術動向を背景にして、実質的に焦点深度を浅くし過ぎることなく解像度を向上させる方法として、二重露光法が見直されている。即ち、二重露光法を適用すれば、或るレイヤ用のレチクルパターンを種類に応じて複数のレチクルパターンに分割し、それぞれを最適な照明条件、及び露光条件で重ねて露光することによって、全体として広い焦点深度、及び高い解像度が得られる。最近では、この二重露光法をKrFエキシマレーザ、更にはArFエキシマレーザを露光光として用いる投影露光装置に適用して、例えば線幅が0.1 $\mu$ mまでのL/Sパターンを含むデバイスのパターンを露光しようという試みも検討されている。

【0015】ところが、この二重露光法を1台のウエハステージを持つ投影露光装置に適用しようとすると、アライメントや露光等の工程をシリアルに繰り返して実行する必要があるために、スループットが大幅に劣化するという不都合がある。そこで、スループットを高めるために、ウエハステージを複数台設けて、アライメントと露光とを並列に実行できるようにした投影露光装置も提案されている。しかしながら、このように複数台のウエハステージを設ける場合、各ウエハステージの可動ステージの位置を単に干渉計で計測するものとする、各可動ステージが大きく移動する際に、対応する干渉計の計測ビームが途切れるために、各可動ステージを例えば交互に露光位置に位置決めする際に、各可動ステージを迅速に再現性を持つ状態で位置決めするのが困難であると

いう不都合があった。

【0016】本発明は斯かる点に鑑み、複数の機能を実現するステージ装置において、それらの複数の機能を実行できる状態で可動部を小型化して、その可動部を高速に移動できると共に、その可動部の位置を再現性を有する状態で高精度に計測できるステージ装置を提供することを第1の目的とする。また、本発明は、二重露光等を行うために、複数の可動部を設けた場合に、各可動部をそれぞれ目標とする位置に再現性を有する状態で迅速に位置決めできるステージ装置を提供することを第2の目的とする。

【0017】更に、本発明は、そのようなステージ装置を備え、レチクルのパターンを転写する際の特性、又は投影光学系の結像特性等を計測する機能を維持した状態で、レチクル、又はウエハを位置決めするための可動部を小型化できる露光装置を提供することを第3の目的とする。更に本発明は、そのようなステージ装置を備え、高いスループットで二重露光法等を実施できる露光装置を提供することを第4の目的とする。

【0018】また、本発明はそのようなステージ装置を用いて迅速に位置決めを行うことができる位置決め方法を提供することをも目的とする。

【0019】

【課題を解決するための手段】本発明による第1のステージ装置は、所定の移動面に沿って互いに独立に移動自在に配置された複数の可動ステージ(WST, 14)と、その複数の可動ステージの内の一つの可動ステージの位置を所定の計測範囲内で計測する第1測定系(15X1, 15X2, 15Y)とを備えたステージ装置であって、その複数の可動ステージのそれぞれに対して、この可動ステージのその計測範囲内の所定の基準位置からの位置ずれ量、又はその基準位置に対する合致度を計測する第2測定系(16, 17A, 17B)を備え、その第2測定系の計測結果に基づいてその第1測定系の計測値の補正を行うものである。

【0020】斯かる本発明の第1のステージ装置によれば、例えば露光、及び特性計測等の複数の機能を実行する場合に、各機能毎(又は複数の機能群毎)に可動ステージを割り当てて複数の可動ステージ(可動部)を設ける。これによって、各可動ステージは小型化できるため、それぞれ高速に駆動できるようになる。ところが、単に複数の可動ステージを設けて、その第1測定系として相対変位測定系、例えば一軸のレーザ干渉計を設けた場合には、各可動ステージが大きく移動すると、レーザ干渉計の計測ビームが途切れるために、何等かの原点設定動作が必要になる。そこで、本発明では、一種の絶対値測定系としてその第2測定系(16, 17A, 17B)を設けた。

【0021】そして、その複数の可動ステージの内の一つの可動ステージ(WST)が、その第1測定系の計測

10

20

30

40

50

範囲の外部からその計測範囲内に入った際に、その第2測定系（絶対値測定系）によりその可動ステージのその計測範囲内の所定の基準位置からの位置ずれ量を計測し、例えばこの位置ずれ量をその第1測定系の計測値にプリセットすることで、その第1測定系の計測値がその可動ステージの位置を再現性を有する形で正確に示すようになる。又は、その第2測定系が合致度（例えば2つのランダムパターン同士の合致度）を計測する場合には、その合致度が所定のレベル以上となった場合に、その第1測定系の計測値をリセットするか、若しくは所定値にプリセットすればよい。これによって、各可動ステージは迅速に再現性を有する状態で高精度に位置決めされる。

【0022】次に、本発明による第2のステージ装置は、所定の移動面に沿って互いに独立に移動自在に配置された複数の可動ステージ（WST1、WST2）と、その複数の可動ステージの内の一つの可動ステージの位置を所定の第1の計測範囲内で計測する第1測定系（87Y3）とを備えたステージ装置であって、その複数の可動ステージのそれぞれに対して、その第1の計測範囲と部分的に重複する第2の計測範囲内で位置を連続的に計測する第2測定系（87Y2、87Y4）と、その第1及び第2測定系の計測結果に基づいてこの2つの測定系の計測結果を補正する制御系（38）と、を設けたものである。

【0023】斯かる本発明の第2のステージ装置によれば、例えば二重露光を行うために複数の可動ステージ

（WST1、WST2）が設けられる。この結果、その第1測定系として、例えば相対変位測定系としての1軸のレーザ干渉計を使用すると、各可動ステージを大きく移動させた場合に、そのレーザ干渉計の計測ビームから外れてしまうため、如何にして再現性を有する形で各可動ステージを位置決めするかが問題となる。これに対して、本発明ではその第1測定系としても例えば相対変位測定系としての1軸（又は複数軸）のレーザ干渉計を使用する。そして、その複数の可動ステージの内の一つの可動ステージが、例えばその第1の計測範囲側からその第2の計測範囲内に入る際には、その第1測定系及び第2測定系によって同時にその可動ステージの位置を計測し、その第1測定系の計測値をその可動ステージの回転角に応じて補正した値をその第2測定系の計測値にプリセットすることによって、その第1測定系の測定値がその第2測定系に受け渡される。これ以降は、その第2測定系を用いてその可動ステージを再現性を有する状態で高精度に位置決めできる。

【0024】この場合、その第1測定系、及び第2測定系はそれぞれ干渉の次数（整数） $N1$ 、 $N2$ 、位相（rad） $\phi 1$ 、 $\phi 2$ （これはヘテロダイン干渉方式では例えば参照信号と測定信号との位相差に相当する）、及び計測ビームの波長 $\lambda$ の関数 $f(\lambda)$ を用いて、 $f(\lambda)$

$\{N1 + \phi 1 / (2\pi)\}$  及び  $f(\lambda) \{N2 + \phi 2 / (2\pi)\}$  の形で可動ステージの位置を計測するようにしてもよい。そして、その第2測定系の計測が可能となつて、その第1測定系及び第2測定系によって同時にその可動ステージの位置を計測したときには、その第1測定系の計測値、及びその可動ステージの回転角よりその第2測定系の干渉の次数 $N2'$ 、及び位相 $\phi 2'$ を推定し、その次数 $N2'$ 、位相 $\phi 2'$ 、及びその第2測定系で計測される位相 $\phi 2$ より、その第2測定系の次数 $N2$ のプリセット値を決定することが望ましい。この後はその第2測定系の計測値を $f(\lambda) \{N2 + \phi 2 / (2\pi)\}$  とすることで、その可動ステージの回転角の計測誤差等が或る程度生じても、その第2測定系の固有の再現精度でその可動ステージの位置を計測できる。また、関数 $f(\lambda)$ は、一例として2以上の整数 $m$ を用いて $\lambda/m$ である。

【0025】次に、本発明による第1の露光装置は、本発明のステージ装置を備えた露光装置であって、そのステージ装置のその複数の可動ステージ（RST1、RST2）に互いに異なるパターンが形成されたマスク（R1、R2）を載置し、その複数の可動ステージ上のマスクのパターンを交互に位置決めを行いながら基板（W1）上に転写するものである。

【0026】斯かる本発明の第1の露光装置によれば、二重露光法を用いて露光を行うことができ、解像度、及び焦点深度の向上を図ることができる。また、本発明のステージ装置を備えているため、例えばレーザ干渉計によりその可動ステージの位置を計測する場合には、その可動ステージに設置する移動鏡をその可動ステージの移動範囲よりも小さくすることができ、その可動ステージの重量を小さくすることができる。従つて、その可動ステージを高速に移動させることが容易になり、スループットの向上を図ることができる。

【0027】次に、本発明による第2の露光装置は、本発明のステージ装置を備えた露光装置であって、そのステージ装置のその複数の可動ステージ（RST、5）の第1の可動ステージ（RST）上にマスク（R）を載置し、第2の可動ステージ（5）上にそのマスクのパターンを転写する際の特性を計測するための特性計測装置（6）を載置し、そのマスク（R）のパターンを基板（W）上に転写するものである。

【0028】斯かる本発明の第2の露光装置によれば、本来の露光に使用するその第1の可動ステージ（RST）には露光に必要な最小限の機能のみを持たせることによって、その第1の可動ステージの大きさは必要最小限にできるため、ステージの小型化、軽量化を行いスループットの向上を図ることができる。一方、露光に直接必要がなく、そのマスク（R）のパターンを転写する際の特性を計測するための特性計測装置（6）は、別の第2の可動ステージ（5）に搭載されるため、そのマスクの

パターンを転写する際の特性を計測することもできる。また、本発明のステージ装置を備えているため、その複数の可動ステージの位置を高精度に計測することができる。

【0029】次に、本発明による第3の露光装置は、本発明のステージ装置を備えた露光装置であって、そのステージ装置のその複数の可動ステージ（WST1，WST2）上にそれぞれ基板（W1，W2）を載置し、その複数の可動ステージを交互に露光位置に位置決めしながら、その複数の基板上に交互に所定のマスクパターンを露光するものである。

【0030】斯かる本発明の第3の露光装置によれば、その複数の可動ステージ（WST1，WST2）の内の一方の可動ステージ（WST1）で露光動作を行いながら、別の可動ステージ（WST2）では基板の搬入搬出及びアライメント動作を行うことができ、スループットの向上を図ることができる。また、本発明のステージ装置を備えているため、その複数の可動ステージの位置を高精度に計測することができる。

【0031】次に、本発明による第4の露光装置は、本発明のステージ装置と、投影光学系（PL）とを備えた露光装置であって、そのステージ装置のその複数の可動ステージ（WST，14）の第1の可動ステージ（WST）上に基板（W）を載置し、第2の可動ステージ（14）上にその投影光学系の結像特性を計測するための特性計測装置（20）を載置し、その第1の可動ステージ上の基板上に所定のマスクパターンをその投影光学系を介して露光するものである。

【0032】斯かる本発明の第4の露光装置によれば、本来の露光に使用するその第1の可動ステージ（WST）には露光に必要な最小限の機能のみを持たせることによって、その第1の可動ステージ（WST）の小型化、軽量化を行いスループットの向上を図ることができる。一方、露光に直接必要がなく、その投影光学系の結像特性を計測するための特性計測装置（20）は、別の第2の可動ステージ（14）に搭載されるため、結像特性も計測できる。また、本発明のステージ装置を備えているため、その複数の可動ステージの位置を高精度に計測することができる。

【0033】次に、本発明による第1の位置決め方法は、本発明のステージ装置を用いた位置決め方法であって、その複数の可動ステージ（WST，14）の内の一つの可動ステージ（WST）がその第1測定系の計測範囲内に入った際に、この可動ステージのその計測範囲内の所定の基準位置からの位置ずれ量、又はその基準位置に対する合致度をその第2測定系により計測し、この計測結果に基づいてその第1測定系の計測値の補正を行うものである。斯かる位置決め方法によれば、その複数の可動ステージをそれぞれ容易に再現性を有する状態で高精度に位置決めできる。

【0034】次に、本発明による第2の位置決め方法は、本発明のステージ装置を用いた位置決め方法であって、その複数の可動ステージ（WST1，WST2）の内の一つの可動ステージがその第2の計測範囲側からその第1の計測範囲内に入る際に、その第1及び第2測定系によって同時にその可動ステージの位置を計測し、この計測結果に基づいてその第1測定系の計測結果をその第2測定系の計測結果に合わせるものである。斯かる位置決め方法によれば、その複数の可動ステージをそれぞれ容易に再現性を有する状態で高精度に位置決めできる。

#### 【0035】

【発明の実施の形態】以下、本発明の第1の実施の形態につき図1～図4を参照して説明する。本例はステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置に本発明を適用したものである。図1は、本例の投影露光装置を示し、この図1において、露光時には、露光光源、ビーム整形光学系、照度分布均一化用のフライアイレンズ、光量モニタ、可変開口絞り、視野絞り、及びリレーレンズ系等を含む照明系1から射出された露光光ILは、ミラー2、及びコンデンサレンズ3を介してレチクルRのパターン面（下面）のスリット状の照明領域を照明する。露光光ILとしては、KrF（波長248nm）、若しくはArF（波長193nm）等のエキシマレーザ光、YAGレーザの高調波、又は水銀ランプのi線（波長365nm）等が使用できる。照明系1内の可変開口絞りを切り換えることによって、通常の照明方法、輪帯照明、いわゆる変形照明、及び小さいコヒーレンスファクタ（ $\sigma$ 値）の照明等の内の所望の照明方法を選択できるように構成されている。露光光源がレーザ光源である場合には、その発光タイミング等は装置全体の動作を統轄制御する主制御系10が、不図示のレーザ電源を介して制御する。

【0036】レチクルRのその露光光ILによる照明領域9（図3参照）内のパターンの像は、投影光学系PLを介して投影倍率 $\beta$ （ $\beta$ は、1/4倍、又は1/5倍等）で縮小されて、フォトリソストが塗布されたウエハ（wafer）W上のスリット状の露光領域12に投影される。以下、投影光学系PLの光軸AXに平行にZ軸を取り、Z軸に垂直な平面内で走査露光時のレチクルR及びウエハWの走査方向に直交する非走査方向（即ち、図1の紙面に垂直な方向）に沿ってX軸を取り、走査方向（即ち、図1の紙面に平行な方向）に沿ってY軸を取って説明する。

【0037】まず、レチクルRは、レチクルステージRST上に真空吸着によって保持され、レチクルステージRSTは、平行に配置された2本のガイド4A及び4B上にエアベアリングを介してY方向に移動自在に載置されている。更に本例では、ガイド4A及び4B上に、レチクルステージRSTとは独立にエアベアリングを

介してY方向に移動自在に計測用ステージ5が載置されている。

【0038】図3は、レチクルステージRST及び計測用ステージ5を示す平面図であり、この図3において、Y方向（走査方向）に伸びたガイド4A及び4Bに沿って、それぞれ不図示のリニアモータ等によってY方向に駆動されるようにレチクルステージRST、及び計測用ステージ5が載置されている。ガイド4A、4Bの長さは、走査露光時のレチクルステージRSTの移動ストロークよりも、少なくとも計測用ステージ5の幅分だけ長く設定されている。また、レチクルステージRSTは、Y方向に移動する粗動ステージと、この粗動ステージ上で2次元的な位置が微調整できる微動ステージとを組み合わせ構成されている。更に、レチクルマークステージRST上には、レチクルRをX方向に挟むような位置関係で1対の基準マーク板17C1、17C2が固定され、基準マーク板17C1、17C2にそれぞれ二次元の例えば十字型の基準マークMC1、MC2が形成されている。基準マークMC1、MC2とレチクルRの原版パターンとの位置関係は予め高精度に計測されて、主制御系10の記憶部に記憶されている。

【0039】そして、計測用ステージ5上にX方向に細長いガラス板よりなる基準板6が固定され、基準板6上に投影光学系PLの結像特性計測用の複数の指標マークIMが所定配置で形成されている。基準板6は、レチクルRに対する露光光のスリット状の照明領域9、より正確には投影光学系PLのレチクルR側の視野のX方向の幅を覆うことができるだけの大きさを備えている。基準板6を使用することで、結像特性計測用の専用レチクルを用意しておく必要がなく、且つ、実露光用のレチクルとその専用レチクルとの交換時間も不要となるため、結像特性を高頻度に計測でき、投影光学系PLの経時変化に正確に追従することができる。また、計測用ステージ5にも、X方向（非計測方向）に対する微小範囲での位置決め機構が備えられていると共に、計測用ステージ5上に、基準板6をX方向に挟むように1対の基準マーク板17D1、17D2が固定され、基準マーク板17D1、17D2にそれぞれ二次元の例えば十字型の基準マークMD1、MD2が形成されている。基準マークMD1、MD2と複数の指標マークIMとの位置関係も予め正確に計測されて、主制御系10の記憶部に記憶されている。

【0040】このように本例では、基準板6用の計測用ステージ5が独立に設けられ、本来のレチクルステージRST上には、レチクルRの他に計測用の部材は搭載されていない。即ち、レチクルステージRSTは、走査露光のために必要最小限の走査、及び位置決め機能のみを備えればよいと、レチクルステージRSTの小型化、軽量化が実現されている。従って、レチクルステージRSTをより高速に走査できるため、露光工程のスループ

ットが向上する。特に縮小投影の場合には、レチクルステージRSTの走査速度はウエハステージの走査速度の $1/\beta$ 倍（例えば4倍、5倍等）になるため、走査速度の上限はレチクルステージでほぼ決定されることがあり、この場合には本例では特にスループットが大きく向上する。

【0041】また、ガイド4A、4Bに対して+Y方向に設置されたレーザ干渉計7YからレチクルステージRSTの+Y方向の側面の移動鏡24Yにレーザビームが照射され、+X方向に設置された2軸のレーザ干渉計7X1、7X2からレチクルステージRSTの+X方向の側面の移動鏡24Xにレーザビームが照射され、レーザ干渉計7Y、7X1、7X2によってレチクルステージRSTのX座標、Y座標、及び回転角が計測され、計測値が図1の主制御系10に供給され、主制御系10はその計測値に基づいてリニアモータ等を介してレチクルステージRSTの速度や位置を制御する。また、ガイド4A、4Bに対して-Y方向に設置されたレーザ干渉計8Yから計測用ステージ5の-Y方向の側面の移動鏡25Yにレーザビームが照射され、レーザ干渉計8Yによって計測される計測用ステージ5のY座標が主制御系10に供給されている。Y軸のレーザ干渉計7Y及び8Yの光軸は、それぞれY方向に沿って照明領域9の中心、即ち投影光学系PLの光軸AXを通過しており、レーザ干渉計7Y及び8Yは、それぞれ常時レチクルステージRST及び計測用ステージ5の走査方向の位置を計測している。

【0042】なお、レチクルステージRSTの直交する側面を鏡面加工しておき、これらの鏡面を移動鏡24X、24Yとみなしてもよく、計測用ステージ5の直交する側面を鏡面加工しておき、これらの鏡面を移動鏡25X、25Yとみなしてもよい。更に、本例では図1に示すように、レチクルRの上方に、レチクルR上に形成されたアライメントマーク（レチクルマーク）と、対応するウエハステージ上の基準マーク（不図示）との位置ずれ量を検出するための1対のレチクルアライメント顕微鏡RA及びRBが配置されている。レチクルアライメント顕微鏡RA、RBの検出中心を通る直線はX軸に平行であり、それらの検出中心の中心は、光軸AXに合致している。本例では、本発明の第2測定系（絶対値測定系）に対応するレチクルアライメント顕微鏡RA、RBを用いて、図3に示すレチクルステージRST上の基準マークMC1、MC2、及び計測用ステージ5上の基準マークMD1、MD2の位置を検出する。

【0043】そして、結像特性の計測時に、レチクルステージRSTを+Y方向に待避させて、基準板6がほぼ照明領域9を覆うように計測用ステージ5をY方向に移動すると、レーザ干渉計7X1、7X2からのレーザビームがレチクルステージRSTの側面から外れて計測用ステージ5の+X方向の移動鏡25Xに照射されるよう

10

20

30

40

50

になる。このとき、レチクルアライメント顕微鏡 R A、R B により基準板 6 上の基準マーク M D 1、M D 2 の検出中心 (視野の中心) からの位置ずれ量をそれぞれ検出し、図 1 の主制御系 1 0 は、基準マーク M D 1、M D 2 の中心がそれぞれ対応する検出中心に対して対称に、かつ最も位置ずれ量が小さくなるように計測用ステージ 5 を位置決めする。そして、この状態で、X 軸のレーザ干渉計 7 X 1、7 X 2 の計測値をそれぞれリセットする。なお、それらの計測値を例えば所定の値にプリセットしてもよい。

【0044】この後は、レーザ干渉計 7 X 1、7 X 2 により計測用ステージ 5 の X 方向の位置、及び回転角が再現性を有する状態で高精度に計測され、計測用ステージ 5 の Y 方向の位置はレーザ干渉計 8 Y によって常時高精度に計測されている。従って、これらの計測値に基づいて主制御系 1 0 は、リニアモータ等を介して計測用ステージ 5 の位置を高精度に制御することができる。なお、上記のように基準マーク M D 1、M D 2 の位置ずれ量を最小にする代わりに、それらの位置ずれ量に基づいて、レーザ干渉計 7 X 1、7 X 2 の計測値をそれぞれ対応する値にプリセットするようにしてもよい。

【0045】一方、計測中には、レチクルステージ R S T の非走査方向の位置は計測されないが、露光のためにレチクルステージ R S T が照明領域 9 下に達すれば、再びレーザ干渉計 7 X 1、7 X 2 からのレーザビームがレチクルステージ R S T の移動鏡 2 4 X に照射されるようになる。そして、計測用ステージ 5 の場合と同様に、レチクルアライメント顕微鏡 R A、R B を用いてレチクルステージ R S T 上の基準マーク M C 1、M C 2 の位置ずれ量を検出し、主制御系 1 0 は、それらの位置ずれ量が対称に、かつ最も小さくなるようにレチクルステージ R S T を位置決めした状態で、レーザ干渉計 7 X 1、7 X 2 の計測値を所定の値にプリセットする。この後は、再現性のある状態でレチクルステージ R S T の X 方向の位置、及び回転角の計測が行われ、Y 方向の位置はレーザ干渉計 7 Y によって常時計測されているため、レチクルステージ R S T を高精度に所望の位置に位置決めすることができる。従って、レーザ干渉計 7 X 1、7 X 2 からのレーザビームが途切れることの不都合は無い。

【0046】図 1 に戻り、ウエハ W は不図示のウエハホルダを介してウエハステージ W S T 上に保持され、ウエハステージ W S T は定盤 1 3 上にエアベアリングを介して X 方向、Y 方向に移動自在に載置されている。ウエハステージ W S T には、ウエハ W の Z 方向の位置 (フォーカス位置)、及び傾斜角を制御するフォーカス・レベリング機構も組み込まれている。また、定盤 1 3 上にウエハステージ W S T とは別体でエアベアリングを介して X 方向、Y 方向に移動自在に各種の計測装置が備えられた計測用ステージ 1 4 が載置されている。計測用ステージ 1 4 にも、その上面のフォーカス位置を制御する機

構が組み込まれている。

【0047】図 2 は、ウエハステージ W S T、及び計測用ステージ 1 4 を示す平面図であり、この図 2 において、定盤 1 3 の表面の内部には例えば所定の配列でコイル列が埋め込まれ、ウエハステージ W S T の底面、及び計測用ステージ 1 4 の底面にはそれぞれヨークと共に磁石列が埋め込まれ、そのコイル列、及び対応する磁石列によってそれぞれ平面モータが構成され、この平面モータによってウエハステージ W S T、及び計測用ステージ 1 4 の X 方向、Y 方向の位置、及び回転角が互いに独立に制御されている。なお、平面モータについては、例えば特開平 8 - 5 1 7 5 6 号公報においてより詳細に開示されている。

【0048】本例のウエハステージ W S T は、露光に必要な最小限の機能のみを備えている。即ち、ウエハステージ W S T は、フォーカス・レベリング機を備えると共に、ウエハステージ W S T 上には、ウエハ W を吸着保持するウエハホルダ (ウエハ W の底面側) と、ウエハステージ W S T の位置計測用の基準マーク M A が形成された基準マーク板 1 7 A とが設置されている。基準マーク板 1 7 A 上には、レチクルアライメント用の基準マーク (不図示) も形成されている。

【0049】また、図 1 に示すように、ウエハ W のアライメント用のオフ・アクシス方式で画像処理方式のウエハアライメントセンサ 1 6 が投影光学系 P L に隣接して設けられており、ウエハアライメントセンサ 1 6 の検出信号が主制御系 1 0 内のアライメント処理系に供給されている。ウエハアライメントセンサ 1 6 は、ウエハ W 上の各ショット領域に付設されたアライメントマーク (ウエハマーク) の位置計測用のセンサである。本例では、ウエハアライメントセンサ 1 6 を用いて、ウエハステージ W S T 上の基準マーク M A 等の位置検出を行う。即ち、ウエハアライメントセンサ 1 6 は、本発明の第 2 測定系 (絶対値測定系) に対応している。

【0050】また、計測用ステージ 1 4 の表面は、ウエハステージ W S T 上のウエハ W の表面とほぼ同じ高さに設定されている。そして、図 2 において、計測用ステージ 1 4 には、投影光学系 P L を通過した露光光の全部の単位時間当たりのエネルギー (入射エネルギー) を計測するための光電センサよりなる照射量モニタ 1 8、投影光学系 P L によるスリット状の露光領域 1 2 内での照度分布を計測するための光電センサよりなる照度むらセンサ 1 9、結像特性測定用のスリット 2 1 X、2 1 Y が形成された測定板 2 0、及び位置基準となる基準マーク M B が形成された基準マーク板 1 7 B が固定されている。基準マーク M B と照度むらセンサ 1 9 等との位置関係は予め高精度に計測されて、図 1 の主制御系 1 0 の記憶部に記憶されている。基準マーク M B の位置もウエハアライメントセンサ 1 6 によって計測される。

【0051】測定板 2 0 の X 軸のスリット 2 1 X、及び

Y軸のスリット 21 Yの底面側にはそれぞれ集光レンズ、及び光電センサが配置され、測定板 20、及び光電センサ等より空間像検出系が構成されている。なお、そのスリット 21 X, 21 Yの代わりに、矩形開口のエッジを使用してもよい。そして、照射量モニタ 18の受光面は、露光領域 12を覆う大きさに形成されると共に、照度むらセンサ 19の受光部はピンホール状となっており、照射量モニタ 18及び照度むらセンサ 19の検出信号は図 1の主制御系 10に供給されている。

【0052】また、測定板 20の底部の光電センサの検出信号は図 1の結像特性演算系 11に供給されている。この場合、投影光学系 PLの結像特性の計測時には、図 3のレチクル側の計測用ステージ 5上の基準板 6が照明領域 9に移動され、基準板 6に形成されている指標マーク IMの像がウエハステージ側に投影され、その像を計測板 20上のスリット 21 X, 21 Yでそれぞれ X方向、Y方向に走査しつつ、底部の光電センサからの検出信号を結像特性演算系 11で取り込む。結像特性演算系 11では、その検出信号を処理してその指標マーク IMの像の位置、及びコントラスト等を検出し、この検出結果より投影像の像面湾曲、ディストーション、ベストフォーカス位置等の結像特性を求めて主制御系 10に出力する。更に、不図示であるが、投影光学系 PL内の所定のレンズを駆動して所定のディストーション等の結像特性を補正する機構も設けられており、主制御系 10はこの補正機構を介して投影光学系 PLの結像特性を補正できるように構成されている。

【0053】図 2において、計測用ステージ 14に備えられている照射量モニタ 18、照度むらセンサ 19、及び測定板 20の底部の光電センサ等のセンサには、何れもアンプ等の発熱源、及び電源や通信用の信号ケーブルが接続されている。従って、それらのセンサが露光用のウエハステージ WSTに搭載されていると、センサに付随する熱源や信号ケーブルの張力によって位置決め精度等が劣化する恐れがある。また、結像特性等の計測中の露光光の照射による熱エネルギーも位置決め精度の悪化等を招く恐れがある。これに対して本例では、それらのセンサが露光用のウエハステージ WSTから分離された計測用ステージ 14に設けられているため、ウエハステージ WSTを小型化、軽量化できると共に、計測用のセンサの熱源や計測中の露光光の熱エネルギーによる位置決め精度の低下が防止できる利点がある。更に、ウエハステージ WSTの小型化によって、ウエハステージ WSTの移動速度や制御性が向上し、露光工程のスループットが高まると共に、位置決め精度等がより向上する。

【0054】また、定盤 13に対して +Y方向に設置されたレーザ干渉計 15 Yからウエハステージ WSTの +Y方向の側面の移動鏡 22 Yにレーザビームが照射され、-X方向に設置された 2軸のレーザ干渉計 15 X

面の移動鏡 22 Xにレーザビームが照射され、レーザ干渉計 15 Y, 15 X1, 15 X2によってウエハステージ WSTの X座標、Y座標、及び回転角が計測され、計測値が図 1の主制御系 10に供給され、主制御系 10はその計測値に基づいて平面モータを介してウエハステージ WSTの速度や位置を制御する。同様に、計測用ステージ 14の側面にも X軸の移動鏡 23 X、及び Y軸の移動鏡 23 Yが取り付けられている。なお、ウエハステージ WSTの直交する側面を鏡面加工して、これらの鏡面を移動鏡 22 X, 22 Yとみなしてもよく、同様に計測用ステージ 14の側面の鏡面を移動鏡 23 X, 23 Yとみなしてもよい。

【0055】そして、露光光の入射エネルギー等の計測時には、それらの位置計測用のレーザビームは計測用ステージ 14の移動鏡 23 X, 23 Yに照射される。図 4は、露光光の入射エネルギー等の計測時のウエハステージ WST、及び計測用ステージ 14の配置の一例を示し、このようにウエハステージ WSTを露光領域 12から離れた位置に待避させて、露光領域 12にかかるように計測用ステージ 14を移動すると、レーザ干渉計 15 X1, 15 X2, 15 Yからのレーザビームが、ウエハステージ WSTの移動鏡 22 X, 22 Yから外れて計測用ステージ 14の移動鏡 23 X, 23 Yに照射されるようになる。このときに、計測用ステージ 14上の基準マーク MBが、図 1のウエハアライメントセンサ 16の視野 16a 内に入るように計測用ステージ 14を移動して、かつ 2軸の X軸のレーザ干渉計 15 X1, 15 X2の計測値が同一の値となるように、計測用ステージ 14の回転角を制御した状態で、基準マーク MBの検出中心からの位置ずれ量を検出する。そして、主制御系 10は、この位置ずれ量の X成分、及び Y成分をそれぞれレーザ干渉計 15 X1, 15 X2、及びレーザ干渉計 15 Yの計測値にプリセットする。この後は、レーザ干渉計 15 X1, 15 X2, 15 Yにより再現性を有する状態で高精度に計測用ステージ 14の位置が計測され、この計測値に基づいて主制御系 10は、平面モータを介して計測用ステージ 14の位置を高精度に制御することができる。

【0056】一方、露光時には、図 2に示すように、計測用ステージ 14を待避させて、ウエハステージ WSTの移動鏡 22 X, 22 Yにレーザ干渉計 15 X1, 15 X2, 15 Yからのレーザビームが照射されるようにして、基準マーク MAをウエハアライメントセンサ 16の視野 16a 内に移動して、レーザ干渉計 15 X1, 15 X2の計測値を一致させた状態で、基準マーク MAの位置ずれ量を計測し、この計測値に基づいてレーザ干渉計 15 X1, 15 X2, 15 Yの計測値のプリセットを行う。この後は、再現性を有する状態で高精度にウエハステージ WSTの位置決めが行われる。なお、平面モータをオープンループで駆動することによってもウエハステ

10

20

30

40

50

ージ W S T、及び計測用ステージ 14 の位置は大まかに制御できるため、レーザビームが照射されていない状態では、主制御系 10 はウエハステージ W S T、及び計測用ステージ 14 の位置を平面モータを用いてオープンループ方式で駆動する。

【0057】図 1 に戻り、不図示であるが、投影光学系 P L の側面には、ウエハ W の表面のフォーカス位置を計測するための斜入射方式の焦点位置検出系（A F センサ）が配置され、この検出結果に基づいて、走査露光中のウエハ W の表面が投影光学系 P L の像面に合焦される。次に、本例の投影露光装置の動作につき説明する。まず、ウエハステージ側の計測用ステージ 14 を用いて投影光学系 P L に対する露光光 I L の入射光量を計測する。この場合、レチクル R がロードされた状態での入射光量を計測するために、図 1 において、レチクルステージ R S T 上に露光用のレチクル R がロードされ、レチクル R が露光光 I L の照明領域上に移動する。その後、図 4 に示すように、ウエハステージ W S T は定盤 13 上で例えば + Y 方向に待避し、計測用ステージ 14 が投影光学系 P L による露光領域 12 に向かって移動する。その後、上記のようにレーザ干渉計 15 X 1、15 X 2、15 Y の計測値のプリセットを行った後、計測用ステージ 14 上の照射量モニタ 18 の受光面が露光領域 12 を覆う位置で計測用ステージ 14 が停止し、この状態で照射量モニタ 18 を介して露光光 I L の光量が計測される。

【0058】主制御系 10 では、その計測された光量を結像特性演算系 11 に供給する。この際に、例えば照明系 1 内で露光光 I L から分岐して得られる光束を検出して得られる計測値も結像特性演算系 11 に供給されており、結像特性演算系 11 では、2 つの計測値に基づいて、照明系 1 内でモニタされる光量から投影光学系 P L に入射する光量を間接的に演算するための係数を算出して記憶する。この間に、ウエハステージ W S T にはウエハ W がロードされる。その後、図 2 に示すように、計測用ステージ 14 は露光領域 12 から離れた位置に待避し、ウエハステージ W S T が露光領域 12 に向かって移動する。ウエハステージ W S T が待避中であるときには、図 4 に示すように、レーザ干渉計 15 Y、15 X 1、15 X 2 からのレーザビームは照射されないため、例えば平面モータをオープンループ方式で駆動することによって位置制御が行われている。

【0059】そして、計測用ステージ 14 を露光領域 12 から待避させて、ウエハステージ W S T を露光領域 12 にかかる位置に移動させて、上記のようにレーザ干渉計 15 Y、15 X 1、15 X 2 の計測値のプリセットを行った後、ウエハステージ W S T 上の基準マーク部材 17 A 上のレチクル用の基準マーク（不図示）の中心が、光軸 A X（露光領域 12 の中心）付近に位置するようにウエハステージ W S T の移動が行われる。その後、レチクルアライメント顕微鏡 R A、R B を用いて、レチクル

R 上のレチクルマークと、基準マーク板 17 A 上の対応する基準マークとの位置ずれ量が所定の許容範囲内になるように、図 1 のレチクルステージ R S T を駆動することによって、レチクル R のアライメントが行われる。これとほぼ同時に、その基準マーク板 17 A 上の別の基準マーク M A の位置を再び図 1 のウエハアライメントセンサ 16 で検出することによって、そのセンサの検出中心とレチクル R の投影像の中心との間隔（ベースライン量）が正確に検出される。

10 【0060】次に、ウエハアライメントセンサ 16 を介してウエハ W 上の所定のショット領域（サンプルショット）に付設されたウエハマークの位置を検出することによって、ウエハ W の各ショット領域の配列座標が求められる。その後、その配列座標、及び上記のベースライン量に基づいて、ウエハ W の露光対象のショット領域とレチクル R のパターン像との位置合わせを行いながら、走査露光が行われる。ウエハ W 上の各ショット領域への走査露光時には、図 1 において、露光光 I L の照明領域 9（図 3 参照）に対して、レチクルステージ R S T を介してレチクル R が + Y 方向（又は - Y 方向）に速度 V R で走査されるのに同期して、露光領域 12 に対してウエハステージ W S T を介してウエハ W が - X 方向（又は + X 方向）に速度  $\beta \cdot V R$ （ $\beta$  は投影倍率）で走査される。

20 【0061】また、露光中には、例えば照明系 1 内で露光光 I L から分岐した光束の光量が常時計測されて結像特性演算系 11 に供給され、結像特性演算系 11 では、供給される光量の計測値、及び予め求めてある係数に基づいて投影光学系 P L に入射する露光光 I L の光量を算出し、露光光 I L の吸収によって発生する投影光学系 P L の結像特性（投影倍率、ディストーション等）の変化量を計算し、この計算結果を主制御系 10 に供給する。主制御系 10 では、例えば投影光学系 P L 内の所定のレンズを駆動することによって、その結像特性の補正を行う。

30 【0062】以上が、通常の露光であるが、本例の投影露光装置のメンテナンス等で装置状態を計測するときには、計測用ステージ 14 を露光領域 12 側に移動して計測を行う。例えば、露光領域 12 内の照度均一性を測定するときは、レチクル R をレチクルステージ R S T から除いた後、図 4 において、照度むらセンサ 19 を露光領域 12 内で X 方向、Y 方向に微動しながら照度分布を計測する。

40 【0063】次に、レチクルステージ側の計測用ステージ 5、及びウエハステージ側の計測用ステージ 14 を用いて、投影光学系 P L の結像測定を測定する動作につき説明する。この場合、図 3 において、レチクルステージ R S T は + Y 方向に待避して、計測用ステージ 5 上の基準板 6 が照明領域 9 内に移動する。このとき、計測用ステージ 5 には非走査方向のレーザ干渉計 7 X 1、7 X 2 からのレーザビームも照射されるようになり、レチクル

アライメント顕微鏡 R A, R B を用いて上記のように計測値のリセット (又はプリセット) が行われる。その後、レーザ干渉計 7 X 1, 7 X 2, 8 Y の計測値に基づいて計測用ステージ 5 は高精度に位置決めされる。

【0064】このときに、既に説明したように、ウエハステージ側には複数の指標マーク I M の像が投影光学系 P L を介して投影される。この状態で、図 4 において、計測用ステージ 1 4 を駆動して、測定板 2 0 上のスリットでその指標マーク I M の像を X 方向、Y 方向に走査し、測定板 2 0 の底部の光電センサの検出信号を結像特性演算系 1 1 で処理することによって、それらの像の位置、及びコントラストが求められる。また、測定板 2 0 のフォーカス位置を所定量ずつ変えながら、それらの像の位置、及びコントラストが求められる。これらの測定結果より、結像特性演算系 1 1 は、投影光学系 P L の投影像のベストフォーカス位置、像面湾曲、ディストーション (倍率誤差を含む) といった結像特性の変動量を求める。この変動量は主制御系 1 0 に供給され、その変動量が許容範囲を超える場合には、主制御系 1 0 は投影光学系 P L の結像特性を補正する。

【0065】以上のように、本例の投影露光装置では、ウエハアライメントセンサ 1 6 によって基準マーク M A, M B の位置を検出して、この位置情報に基づいてレーザ干渉計 1 5 X 1, 1 5 X 2, 1 5 Y のプリセットを行うため、レーザ干渉計 1 5 X 1, 1 5 X 2, 1 5 Y によりウエハステージ W S T, 又は計測用ステージ 1 4 の位置を高い再現性で高精度に計測して制御することができる。同様に、レチクルアライメント顕微鏡 R A, R B により基準マーク M C 1, M C 2 又は M D 1, M D 2 の位置を検出して、レーザ干渉計 7 X 1, 7 X 2 のリセット等を行うことにより、レチクルステージ R S T, 又は計測用ステージ 5 の位置を高い再現性で高精度に計測して制御することができる。

【0066】次に、本発明の第 2 の実施の形態につき図 5 ～図 1 2 を参照して説明する。本例は、二重露光法により露光を行うステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置に本発明を適用したものである。図 5 は、本例の投影露光装置の概略構成を示し、この図 5 において、本例の投影露光装置は、ベース盤 8 6 を感応基板としてのウエハ W 1, W 2 をそれぞれ保持して独立して 2 次元方向に移動する複数の可動ステージとしてのウエハステージ W S T 1, W S T 2 を備えたステージ装置、このステージ装置の上方に配置された投影光学系 P L 1、投影光学系 P L 1 の上方でマスクとしてのレチクル R 1 又は R 2 (図 6 参照) を所定の走査方向に駆動するレチクル駆動機構、レチクル R 1, R 2 を上方から照明する照明系、及びこれら各部を制御する制御系等を備えている。以下、投影光学系 P L 1 の光軸 A X 1 に平行に Z 軸を取り、Z 軸に垂直な平面内で図 5 の紙面に平行に X 軸を、図 5 の紙面に垂直に Y 軸を取って説明する。本例では、

Y 軸に平行な方向 (Y 方向) が走査方向である。

【0067】まず、ステージ装置は、ベース盤 8 6 上に不図示の空気軸受けを介して浮上支持され、X 方向及び Y 方向に独立して移動自在な 2 つのウエハステージ W S T 1, W S T 2 と、これらのウエハステージ W S T 1, W S T 2 を駆動するウエハステージ駆動系 8 1 W と、ウエハステージ W S T 1, W S T 2 の位置を計測する干渉計システムとを備えている。

【0068】これをさらに詳述すると、ウエハステージ W S T 1, W S T 2 の底面には不図示のエアパッド (例えば、真空予圧型空気軸受け) が複数箇所に設けられており、このエアパッドの空気噴き出し力と真空予圧力とのバランスにより例えば数  $\mu$  m の間隔を保った状態で、ウエハステージ W S T 1, W S T 2 はベース盤 8 6 上に浮上支持されている。

【0069】図 7 は、ウエハステージ W S T 1, W S T 2 の駆動機構を示し、この図 7 において、ベース盤 8 6 上には、X 方向に延びる 2 本の X 軸リニアガイド 9 5 A, 9 5 B が平行に設けられている。X 軸リニアガイド 9 5 A, 9 5 B に沿ってそれぞれリニアモータ用の 1 組の永久磁石が固定されており、これらの X 軸リニアガイド 9 5 A 及び 9 5 B に沿って移動自在にそれぞれ 2 つの移動部材 9 3 A, 9 3 C 及び 2 つの移動部材 9 3 B, 9 3 D が取り付けられている。これら 4 つの移動部材 9 3 A ～ 9 3 D の底面部には、X 軸リニアガイド 9 5 A 又は 9 5 B を上方及び側方から囲むように不図示の駆動コイルがそれぞれ取り付けられており、これらの駆動コイルと X 軸リニアガイド 9 5 A 又は 9 5 B とによって、各移動部材 9 3 A ～ 9 3 D を X 方向に駆動するムービングコイル型のリニアモータがそれぞれ構成されている。そこで、以下の説明では、便宜上、これらの移動部材 9 3 A ～ 9 3 D を「X 軸リニアモータ」と呼ぶものとする。

【0070】この内 2 つの X 軸リニアモータ 9 3 A, 9 3 B は、Y 方向に延びる Y 軸リニアガイド 9 4 A の両端に設けられ、残り 2 つの X 軸リニアモータ 9 3 C, 9 3 D も、Y 方向に延びる Y 軸リニアガイド 9 4 B の両端に固定されている。Y 軸リニアガイド 9 4 A, 9 4 B にはそれぞれ Y 方向に沿ってリニアモータ用の 1 組の駆動コイルが固定されている。従って、Y 軸リニアガイド 9 4 A は、X 軸リニアモータ 9 3 A, 9 3 B によって X 軸リニアガイド 9 5 A, 9 5 B に沿って X 方向に駆動され、Y 軸リニアガイド 9 4 B は、X 軸リニアモータ 9 3 C, 9 3 D によって X 軸リニアガイド 9 5 A, 9 5 B に沿って X 方向に駆動される。

【0071】一方、ウエハステージ W S T 1 の底面には、一方の Y 軸リニアガイド 9 4 A を上方及び側方から囲む不図示の 1 組の永久磁石が設けられており、この永久磁石と Y 軸リニアガイド 9 4 A とによってウエハステージ W S T 1 を Y 方向に駆動するムービングマグネット型のリニアモータが構成されている。同様に、ウエハス

テージ WST 2 の底部に設けられた不図示の 1 組の永久磁石と、Y 軸リニアガイド 94 B とによってウエハステージ WST 2 を Y 方向に駆動するムービングマグネット型のリニアモータが構成されている。

【0072】即ち、本例では、上述した X 軸リニアガイド 95 A、95 B、X 軸リニアモータ 93 A～93 D、Y 軸リニアガイド 94 A、94 B 及びウエハステージ WST 1、WST 2 の底部の不図示の永久磁石等によって、ウエハステージ WST 1、WST 2 を独立して XY 平面上で 2 次元駆動するステージ系が構成されている。これらのウエハステージ WST 1、WST 2 は、図 5 のステージ駆動系 81 W を介してステージ制御装置 38 によって制御される。ステージ制御装置 38 の動作は主制御装置 90 によって制御されている。

【0073】なお、Y 軸リニアガイド 94 A の両端に設けられた一対の X 軸リニアモータ 93 A、93 B の推力のバランスを若干変化させることで、ウエハステージ WST 1 に微少なヨーイングを発生させたり、除去することも可能である。同様に、一対の X 軸リニアモータ 93 C、93 D の推力のバランスを若干変化させることで、ウエハステージ WST 2 に微少なヨーイングを発生させたり、除去することもできる。これらのウエハステージ WST 1、WST 2 上には、不図示のウエハホルダを介してそれぞれウエハ W1、W2 が真空吸着等により固定されている。ウエハホルダは、不図示の Z・ $\theta$  駆動機構によって Z 方向及び  $\theta$  方向（Z 軸の回りの回転方向）に微小駆動されるようになっている。

【0074】また、ウエハステージ WST 1 の -X 方向及び +Y 方向の側面は、鏡面仕上げがなされた反射面 84 X、84 Y（図 6 参照）となっており、同様に、ウエハステージ WST 2 の +X 方向及び +Y 方向の側面は、鏡面仕上げがなされた反射面 85 X、85 Y となっている。これらの反射面が移動鏡に対応しており、これらの反射面に、後述する干渉計システムを構成する各レーザ干渉計からレーザビームよりなる計測ビーム 92 X2、92 X5、92 Y1～92 Y4 が投射され、その反射光を各レーザ干渉計で受光することにより、各反射面の基準面（一般には投影光学系側面やアライメント光学系の側面に参照ミラーを配置し、そこを基準面とする）からの変位を計測し、これにより、ウエハステージ WST 1、WST 2 の 2 次元位置がそれぞれ計測されるようになっている。なお、干渉計システムの構成については、後に詳述する。

【0075】図 5 において、投影光学系 PL1 としては、Z 方向の共通の光軸を有する複数枚のレンズエレメントから成り、両側テレセントリックで所定の縮小倍率、例えば 1/5 を有する屈折光学系が使用されている。なお、投影光学系 PL1 として反射屈折系や反射系を使用してもよい。この投影光学系 PL1 の X 方向の両側には、図 5 に示すように、互いに同じ機能を持ったオ

フ・アクシス（off-axis）方式のアライメント系 88 A、88 B が、投影光学系 PL1 の光軸 AX1（レチクルパターンの投影像の中心と一致する）よりそれぞれ同一距離だけ離れた位置に設置されている。これらのアライメント系 88 A、88 B は、スリット状のレーザビームを用いる LSA（Laser Step Alignment）系、画像処理方式の FIA（Field Image Alignment）系、例えば 2 本のヘテロダインビームの回折光を検出する LIA（Laser Interferometric Alignment）系の 3 種類のアライメントセンサを有しており、基準マーク板上の基準マーク及びウエハ上のアライメントマークの 2 次元方向（X 方向及び Y 方向）の位置計測を行うことができる。本例では、これら 3 種類のアライメントセンサを、適宜目的に応じて使い分け、ウエハ上の 3 点の一次元マークの位置を検出してウエハの概略位置計測を行ういわゆるサーチアライメントや、ウエハ上の各ショット領域の正確な位置計測を行うファインアライメント等を行っている。

【0076】この場合、一方のアライメント系 88 A は、ウエハステージ WST 1 上に保持されたウエハ W1 上のアライメントマークの位置計測等に用いられる。また、他方のアライメント系 88 B は、ウエハステージ WST 2 上に保持されたウエハ W2 上のアライメントマークの位置計測等に用いられる。これらのアライメント系 88 A、88 B を構成する各アライメントセンサからの検出信号は、アライメント制御装置 80 に供給され、アライメント制御装置 80 では供給された検出信号を A/D（アナログ／デジタル）変換し、デジタル化した波形信号を演算処理してマーク位置を検出する。この検出結果が主制御装置 90 に送られ、主制御装置 90 からその検出結果に応じてステージ制御装置 38 に対して露光時の位置補正情報等が出力されるようになっている。

【0077】また、図示省略したが、投影光学系 PL1、及びアライメント系 88 A、88 B のそれぞれには、ウエハ W1（又は W2）の露光面のベストフォーカス位置からのデフォーカス量を検出するためのオートフォーカス／オートレベリング計測機構（以下、「AF/AL 系」という）が設けられている。この内、投影光学系 PL1 の AF/AL 系としては、いわゆる斜入射方式の多点 AF 系が使用されている。そして、アライメント系 88 A、88 B にも同様な AF/AL 系が設けられている。即ち、本例では、露光時のデフォーカス量の検出に用いられる AF/AL 系とはほぼ同一の計測領域に対して、アライメントシーケンス時に用いられる AF/AL 系によっても検出ビームが照射できる構成となっている。このため、アライメント系 88 A、88 B を使用したアライメントシーケンス時にも、露光時と同程度の合焦精度で高精度にアライメントマークの位置計測を行うことができる。換言すれば、露光時とアライメント時との間で、ステージの姿勢によるオフセット（誤差）が発

生しなくなる。

【0078】次に、レチクル駆動機構について、図5及び図6を参照して説明する。このレチクル駆動機構は、レチクルベース盤79上をレチクルR1を保持してXY平面の2次元方向に移動可能なレチクルステージRST1と、同じ移動面に沿ってレチクルR2を保持して2次元方向に移動可能なレチクルステージRST2と、これらのレチクルステージRST1、RST2を駆動する不図示のリニアモータと、これらのレチクルステージRST1、RST2の位置を管理するレチクル干渉計システムとを備えている。

【0079】これを更に詳述すると、図6に示されるように、これらのレチクルステージRST1、RST2は走査方向(Y方向)に直列に設置されており、不図示の空気軸受を介してレチクルベース盤79上に浮上支持され、レチクルステージ駆動機構81R(図5参照)によりX方向の微小駆動、 $\theta$ 方向の微小回転及びY方向の走査駆動がなされるように構成されている。なお、レチクルステージ駆動機構81Rは、ウエハ用のステージ装置と同様のリニアモータを駆動源としているが、図5では説明の便宜上から単なるブロックとして示しているものである。このため、レチクルステージRST1、RST2上のレチクルR1、R2が例えば二重露光の際に選択的に使用され、何れのレチクルR1、R2についてもウエハW1、W2と同期走査できる様な構成となっている。

【0080】これらのレチクルステージRST1、RST2上には、+X方向の側面に、レチクルステージRST1、RST2と同じ素材(例えばセラミックス等)から成る移動鏡82A、82BがそれぞれY方向に延設されており、これらの移動鏡82A、82Bの+X方向の反射面に向けてレーザ干渉計(以下、単に「干渉計」という)83X1~83X5からレーザビームよりなる計測ビーム91X1~91X5が照射され、干渉計83X1~83X5ではその反射光を受光して所定の基準面に対する相対変位を計測することにより、レチクルステージRST1、RST2のX方向の位置を計測している。ここで、干渉計83X3からの計測ビーム91X3は、実際にはそれぞれ独立に変位計測できるY方向に離れた2本の計測ビームを有しており、これらの2つの計測値よりレチクルステージRST1、RST2のX方向の位置とヨーイング量(Z軸の回りの回転角)とを計測することができる。

【0081】本例では、計測ビーム91X1~91X5のY方向の間隔は、移動鏡82A、82BのY方向の幅よりも短く設定されており、これによって移動鏡82A、82Bには常時何れかの計測ビーム91X1~91X5が照射されている。また、或る時点で隣接する2本の計測ビーム(例えば91X1、91X2)が同一の移動鏡(例えば82B)に同時に照射されるようになり、

この状態を対応する干渉計83X1、83X2が部分的に計測範囲を重複しているとみなすことができる。これによって、後述のように干渉計83X1~83X4の計測値を順次干渉計83X2~83X5の計測値に高精度に受け渡すことができる。干渉計83X1~83X5の計測値は図5のステージ制御装置38に供給され、これらの計測値に基づいてステージ制御装置38は、ウエハステージWST1、WST2との同期誤差を補正するために、レチクルステージ駆動機構81Rを介してレチクルステージRST1、RST2の回転制御やX方向の位置制御を行なう。

【0082】一方、図6において、第1のレチクルステージRST1の走査方向に沿った-Y方向の端部には、一対の移動鏡としてのコーナーキューブ89A、89Bが設置されている。そして、一対のダブルパス方式の干渉計(不図示)から、これらのコーナーキューブ89A、89Bに対して、それぞれ2本のレーザビームよりなる計測ビーム(図6では、1本の計測ビームで代表している)91Y1、91Y2が照射され、その不図示の一対の干渉計によって所定の基準面に対してレチクルステージRST1のY方向の相対変位が計測される。また、第2のレチクルステージRST2の+Y方向の端部にも、一対のコーナーキューブ89C、89Dが設置され、一対のダブルパス方式の干渉計83Y3、83Y4からこれらのコーナーキューブ89C、89Dに対して計測ビーム91Y3、91Y4(実際にはそれぞれ2本のレーザビームよりなる)が照射され、干渉計83Y3、83Y4によってそれぞれレチクルステージRST2のY方向の変位が計測されている。

【0083】これらのダブルパス方式の干渉計の計測値も、図5のステージ制御装置38に供給され、その計測値に基づいてレチクルステージRST1、RST2のY方向の位置が制御される。即ち、本例では、計測ビーム91X1~91X5を有する干渉計83X1~83X5と、計測ビーム91Y1、91Y2及び計測ビーム91Y3、91Y4を有する2対のダブルパス方式の干渉計とによってレチクルステージ用の干渉計システムが構成されている。なお、干渉計83X1~83X5が図5では干渉計83で表され、移動鏡82A、82B及び計測ビーム91X1~91X5がそれぞれ図5では移動鏡82及び計測ビーム91Xで表されている。

【0084】次に、ウエハステージWST1、WST2の位置を管理する干渉計システムについて図5~図7を参照して説明する。図5~図7に示すように、投影光学系PL1の投影像の中心(光軸AX1)と、アライメント系88A、88Bのそれぞれの検出中心とを通りX軸に平行な軸に沿って、ウエハステージWST1の-X方向の側面の反射面84Xには、干渉計87X2から3軸のレーザビームよりなる計測ビーム92X2が照射されている。同様に、ウエハステージWST2の+X方向の

側面の反射面 85X には、干渉計 87X5 から 3 軸のレーザビームよりなる計測ビーム 92X5 が照射されている。干渉計 87X2, 87X5 ではそれらの反射光を受光することにより、各反射面の基準位置からの X 方向への相対変位を計測している。

【0085】この場合、図 6 に示すように、計測ビーム 92X2 及び 92X5 は、それぞれ互いに独立に変位計測を行うことができる 3 軸のレーザビームであるため、対応する干渉計 87X2, 87X5 は、それぞれウエハステージ WST1, WST2 の X 方向の位置を計測する以外に、各ステージのチルト角（Y 軸の回りの回転角）計測、及びヨーイング角（Z 軸回りの回転角）の計測をすることができる。この場合、本例のウエハステージ WST1 及び WST2 には、図 6 に示すようにそれぞれウエハ W1 及び W2 の Z 方向への微小駆動、傾斜角の駆動、及び Z 軸の回りの回転駆動を行うための Z・レベリングステージ LS1 及び LS2 が設けられているが、Z・レベリングステージ LS1 及び LS2 は実際には反射面 84X, 85X よりも低い部分にある。従って、ウエハ W1, W2 のチルト角制御、及びヨーイング角制御の際の駆動量は全て、これらの干渉計 87X2, 87X5 によりモニタすることができる。

【0086】なお、X 軸の計測ビーム 92X2, 92X5 は、ウエハステージ WST1, WST2 の移動範囲の全域で常にウエハステージ WST1, WST2 の反射面 84X, 85X に照射されるようになっている。従って、X 方向については、投影光学系 PL1 を用いた露光時、又はアライメント系 88A, 88B の使用時等の何れの場合にも、ウエハステージ WST1, WST2 の X 方向の位置は計測ビーム 92X2, 92X5 を用いた計測値に基づいて管理される。

【0087】また、図 6 及び図 7 に示すように、ウエハステージ WST1, WST2 の +Y 方向の側面が移動鏡としての反射面 84Y 及び 85Y に加工されており、投影光学系 PL1 の光軸 AX1 を通り Y 軸に平行な計測ビーム 92Y3 が干渉計 87Y3 から反射面 84Y, 85Y に照射されている。また、アライメント系 88A, 88B のそれぞれの検出中心を通り Y 軸に平行な計測ビーム 92Y1, 92Y5 をそれぞれ有する干渉計 87Y1, 87Y5 も設けられている。本例の場合、投影光学系 PL1 を用いた露光時のウエハステージ WST1, WST2 の Y 方向の位置計測には、計測ビーム 92Y3 を持つ干渉計 87Y3 の計測値が用いられ、アライメント系 88A、又は 88B の使用時のウエハステージ WST1、又は WST2 の Y 方向の位置計測には、それぞれ干渉計 87Y1 又は 87Y5 の計測値が用いられる。

【0088】従って、各使用条件により、Y 軸の干渉計 87Y1, 87Y3, 87Y5 の計測ビームがウエハステージ WST1, WST2 の反射面 84Y, 85Y より外れる場合がある。そのため、本例では、干渉計 87X

1 及び 87Y3 の間に Y 軸に平行な計測ビーム 92Y2 を持つ干渉計 87Y2 を設け、干渉計 87Y3 及び 87Y5 の間に Y 軸に平行な計測ビーム 92Y4 を持つ干渉計 87Y4 を設けることにより、ウエハステージ WST1, WST2 の反射面 84Y, 85Y に常時、少なくとも一つの干渉計からの計測ビームが照射されるようにしている。このために、移動鏡としての反射面 84Y 及び 85Y の X 方向の幅を DX1 とすると、計測ビーム 92Y1, 92Y2, …, 92Y5 の X 方向の間隔 DX2 を幅 DX1 よりも狭く設定している。この結果、計測ビーム 92Y1 ~ 92Y5 中の隣接する 2 つの計測ビームが同時に反射面 84Y, 85Y 上に照射される場合が必ず生じる（部分的に重複する計測範囲を有する）ため、後述のようにその状態で第 1 の干渉計から第 2 の干渉計に計測値の受け渡しを行っている。これによって、ウエハステージ WST1, WST2 は Y 方向においても、高い再現性で高精度に位置決めが行われる。

【0089】なお、Y 方向の位置計測用の計測ビーム 92Y1, 92Y3, 92Y5 は、それぞれ Z 方向に離れて独立に位置計測を行うことができる 2 軸のレーザビームよりなるため、対応する干渉計 87Y1, 87Y3, 87Y5 は、それぞれ計測対象の反射面 84Y, 85Y の Y 方向の位置の他に、X 軸の回りの傾斜角（チルト角）の計測も行うことができる。本例では、干渉計 87X2, 87X5, 87Y1 ~ 87Y5 の合計 7 つの干渉計によって、ウエハステージ WST1, WST2 の 2 次元の座標位置を管理する干渉計システムが構成されている。本例では、後述するように、ウエハステージ WST1, WST2 の内の一方が露光シーケンスを実行している間、他方はウエハ交換、及びウエハアライメントシーケンスを実行するが、この際に両ステージの機械的な干渉がないように、各干渉計の計測値に基づいてステージ制御装置 38 が、ウエハステージ WST1, WST2 の位置及び速度制御を行っている。

【0090】次に、本例の照明系及び制御系について、図 5 に基づいて説明する。図 5 において、露光光源である KrF、ArF、又は F<sub>2</sub> 等のエキシマレーザ光源と減光システム（減光板等）とよりなる光源部 40 から射出されたパルスレーザ光よりなる露光光は、シャッタ 42 を透過した後、ミラー 44 により偏向されて、ビームエキスパンダ 46, 48 により適当なビーム径に整形され、第 1 フライアイレンズ 50 に入射する。この第 1 フライアイレンズ 50 から射出された露光光は、レンズ 52、振動ミラー 54、レンズ 56 を介して第 2 フライアイレンズ 58 に入射する。この第 2 フライアイレンズ 58 より射出された露光光は、レンズ 60 を経て、レチクル R1（又は R2）と共役な位置に設置された固定ブラインド 62 に達し、ここで所定形状にその断面形状が規定された後、レチクルとの共役面から僅かにデフォーカスした位置に配置された可動ブラインド 64 を通過し

て、リレーレンズ 66, 68 を経て均一な照度分布の光として、レチクル R1 上の所定形状、ここでは矩形スリット状の照明領域 I A (図 6 参照) を照明する。

【0091】次に、本例の制御系は、装置全体を統轄的に制御する主制御装置 90 を中心に、この主制御装置 90 の管轄下にある露光量制御装置 70 及びステージ制御装置 38 等から構成されている。例えばレチクル R1 のパターンをウエハ W1 に露光する場合には、露光量制御装置 70 は、レチクル R1 とウエハ W1 との同期走査が開始されるのに先立って、シャッタ駆動装置 72 に指示してシャッタ駆動部 74 を駆動させてシャッタ 42 をオープンする。

【0092】この後、ステージ制御装置 38 により、主制御装置 90 の指示に応じてレチクル R1 とウエハ W1、即ちレチクルステージ RST1 とウエハステージ WST1 との同期走査 (走査制御) が開始される。この同期走査は、前述したウエハステージ用の干渉計システムの計測ビーム 92 Y3, 92 X2 及びレチクルステージ用の干渉計システムの計測ビーム 91 Y1, 91 Y2, 91 X3 の計測値をモニタしつつ、ステージ制御装置 38 によってステージ駆動系 81 W、及びレチクルステージ駆動機構 81 R を制御することにより行われる。

【0093】そして、両ステージ RST1, WST1 が所定の同期誤差以内で投影倍率比を速度比として、それぞれ等速度駆動された時点で、露光量制御装置 70 では、レーザ制御装置 76 に指示してパルス発光を開始させる。これにより、露光光によってレチクル R1 の矩形の照明領域 I A (図 6 参照) が照明され、その照明領域 I A 内のパターンの像が投影光学系 PL1 により 1/5 倍に縮小され、その表面にフォトレジストが塗布されたウエハ W1 上に投影露光される。ここで、図 6 から明らかなように、レチクル R1 上のパターン領域に比べ照明領域 I A の走査方向の幅は狭く、レチクル R1 とウエハ W1 とを同期走査することで、パターン領域の全面の像がウエハ上のショット領域に順次転写される。この露光の際に、露光量制御装置 70 は、ミラー駆動装置 78 に指示して振動ミラー 54 を駆動させることで、2つのフライアイレンズ 50, 58 で発生する干渉縞による照度むらの低減を行う。

【0094】また、走査露光中にウエハ W1 上の各ショット領域のエッジ部の近傍に、レチクル R1 上のパターン領域の外部 (遮光帯の外部) を通過した露光光が漏れないように、レチクル R1 とウエハ W1 との走査に同期して可動ブラインド 64 がブラインド制御装置 39 によって駆動制御されており、これらの一連の同期動作がステージ制御装置 38 により管理されている。更に、主制御装置 90 では、例えば、走査露光時に同期走査を行うレチクルステージとウエハステージとの助走開始位置等を補正する場合、各ステージを移動制御するステージ制御装置 38 に対してステージ位置の補正値を指示する。

【0095】次に、上記のように本例のレチクルステージ RST1, RST2、及びウエハステージ WST1, WST2 にはそれぞれ部分的に計測範囲が重複している複数の干渉計が配置されており、干渉計の計測値が順次受け渡されるように構成されている。以下では、図 7 のウエハステージ WST2、及び 2 つの Y 軸の干渉計 87 Y3 及び 87 Y4 を例に取って、干渉計の計測値の受け渡し動作、即ち干渉計の計測値のプリセット動作につき図 7 ~ 図 10 を参照して説明する。

【0096】まず、図 7 の位置にあるウエハステージ WST2 が -X 方向に移動すると、この移動の途中で計測ビーム 92 Y4 が、ウエハステージ WST2 の移動鏡としての反射面 85 Y に入射しなくなる。逆に、ウエハステージ WST2 が +X 方向に移動すると、この移動の途中で計測ビーム 92 Y3 が、反射面 85 Y に入射しなくなる。そこで、干渉計 87 Y4 と干渉計 87 Y3 との間で、計測値の受け渡しを高精度に行って、干渉計 87 Y4, 87 Y3 の何れかを用いて再現性の有る状態でウエハステージ WST2 の Y 座標の計測を行う必要がある。このため、本例では、次のような工夫をしている。

【0097】図 8 (a) は、図 7 のウエハステージ WST2 を示す平面図であり、この図 8 (a) において、ウエハステージ WST2 の X 方向の変位は、X 軸の干渉計 87 X5 によって、また、ウエハステージ WST2 の Y 方向の変位は、2 つの干渉計 87 Y3, 87 Y4 によって測定されている。干渉計 87 Y3, 87 Y4 の計測ビーム 92 Y3, 92 Y4 の X 方向の間隔 DX2 は、ウエハステージ WST2 の反射面 85 Y の X 方向の幅 DX1 より狭くなっている。

【0098】ここで、本例の干渉計 87 Y4, 87 Y3 はそれぞれヘテロダイン干渉方式のレーザ干渉計であり、計測ビームの光源としては共通の不図示の 2 周波数発振レーザ (例えばゼーマン効果型の波長 633 nm の He-Ne レーザ光源) が使用されている。この 2 周波数発振レーザからは互いに偏光方向が直交し、所定の周波数差  $\Delta f$  (例えば 2 MHz 程度) を有する第 1、及び第 2 の光束が同軸にヘテロダインビームとして射出されており、先ずこのヘテロダインビームを例えば 1/10 程度分岐して検光子で混合させた干渉光を光電変換することで周波数  $\Delta f$  の参照信号 SR が生成され、この参照信号 SR が干渉計 87 Y4, 87 Y3 内のそれぞれの位相比較器 26 (図 9 参照) に供給されている。

【0099】また、上記のヘテロダインビームをそれぞれ 1/10 程度分岐して得られた第 1、及び第 2 のヘテロダインビームが干渉計 87 Y3, 87 Y4 に供給されており、干渉計 87 Y4 は第 2 のヘテロダインビームの偏光方向が直交する 2 光束の一方を計測ビーム 92 Y4 として、他方を参照ビーム (不図示) として、参照ビームは不図示の参照鏡で反射される。そして、反射された参照ビームと、反射面 85 Y で反射された計測ビーム 9

2 Y 4 とを混合させた干渉光を光電変換することで周波数  $\Delta f$  で、かつ位相が変化する測定信号 S 2 が生成されて図 9 の位相比較器 26 に供給され、位相比較器 26 において、上記の参照信号 S R と測定信号 S 2 との位相差  $\phi 2$  が所定の分解能（例えば  $2\pi/100$  (rad)）で検出されて積算器 27 に供給される。

【0100】この際に、計測ビーム 92 Y 3, 92 Y 4 の波長を  $\lambda$  として、1 以上の整数  $m$  を用いて、反射面 85 Y が Y 方向に  $\lambda/m$ （本例のようにシングルパス方式では  $m=2$ 、一方、ダブルパス方式では  $m=4$ ）だけ移動したときに、その位相差  $\phi 2$  が  $2\pi$  (rad) 変化する。また、位相差  $\phi 2$  の範囲は  $0 \leq \phi 2 < 2\pi$  であり、図 9 の積算器 27 では、位相差  $\phi 2$  が  $2\pi$  を + 方向に横切る際に所定の整数（干渉の次数に相当する） $N 2$  に 1 を加算して、位相差  $\phi 2$  が 0 を一方向に横切る際にその整数  $N 2$  から 1 を減算する。そして、計測中は積算器 27 は  $\{N 1 + \phi 2 / (2\pi)\}$  に  $\lambda/m$  を乗じた計測値 P 2 をウェハステージ W S T 2 の Y 方向の絶対位置としてステージ制御装置 38 に送る。

【0101】同様に、干渉計 87 Y 3 においても、計測ビーム 92 Y 3 から得られる測定信号 S 1 と上記の参照信号 S R との位相差  $\phi 1$ 、この位相差  $\phi 1$  が  $2\pi$ 、又は 0 を横切る毎に増減する整数  $N 1$ 、及び  $\lambda/m$  から算出される計測値 P 1 をステージ制御装置 38 に送る。即ち、干渉計 87 Y 3, 87 Y 4 はそれぞれウェハステージ W S T 2 の Y 方向の位置を、 $\lambda/m$  の幅内では絶対位置として計測している。

【0102】そして、本例の X 軸の干渉計 87 X 5 は、図 6 に示すように Y 方向に離れた 2 つのレーザビームを備えているため、これら 2 つのレーザビームによる反射面 85 X の X 座標の計測値の差分より、ウェハステージ W S T 2 の回転角  $\theta W 2$  を計測できる。そこで、予め図 8 (a) の状態でその回転角  $\theta W 2$  が 0 となるようにウェハステージ W S T 2 を静止させた「初期状態」で、干渉計 87 Y 4, 87 Y 3 における整数  $N 2$ ,  $N 1$  を 0 にリセットすると共に、計測される位相差  $\phi 2$ ,  $\phi 1$  に  $\{1 / (2\pi)\}$  ( $\lambda/m$ ) を乗じて得られる計測値（初期値）P 20, P 10 をステージ制御装置 38 に取り込む。

【0103】そして、ステージ制御装置 38 では、干渉計 87 Y 4, 87 Y 3 の計測値のオフセットをそれぞれ  $-P 20$ ,  $-P 10$  として、この後は干渉計 87 Y 4, 87 Y 3 から供給される計測値 P 2, P 1 にそのオフセット ( $-P 20$ ,  $-P 10$ ) を加算した値を、干渉計 87 Y 4, 87 Y 3 の実際の計測値 P 2', P 1' とする。即ち、この計測値 P 2', P 1' は、上記の初期状

$$N 2 = g \{P 2' / (\lambda/m)\} \quad (1)$$

$$\epsilon 2 = \{P 2' / (\lambda/m) - N 2\} (2\pi) \quad (2)$$

ここで、 $g \{X\}$  は、 $X$  を超えない最大の整数を与える関数である。後に詳述するようにステージ制御装置 38

態からのウェハステージ W S T 2 の Y 方向への変位量を正確に表すことになる。その計測値の初期値 (P 20, P 10) は記憶されている。

【0104】さて、図 8 (a) において、ウェハステージ W S T 2 が -X 方向に更に移動して、図 8 (b) に示す位置に達したとする。図 8 (b) では、干渉計 87 Y 4 の計測ビーム 92 Y 4 が移動鏡としての反射面 85 Y から外れている。この状態では、ウェハステージ W S T 2 の Y 座標は、干渉計 87 Y 3 によって計測されているものとする。この状態から再び図 8 (a) に示す位置に向かってウェハステージ W S T 2 が +X 方向に移動を始め、反射面 85 Y が干渉計 87 Y 4 の計測ビーム 92 Y 4 の照射範囲（測定範囲）内に入った際に、干渉計 87 Y 4 の計測値を以下のようにして設定（プリセット）する。

【0105】まず、X 軸の干渉計 87 X 5 の計測ビーム 92 X 5（2 本のレーザビーム）によってウェハステージ W S T 2 の回転角  $\theta W 2$ （ほぼ 0 に近い微小量 (rad) である）を計測する。この状態で、図 8 (a) において、計測ビーム 92 Y 3 を用いる干渉計 87 Y 3 による Y 座標の計測値 P 1 を求める。ただし、この計測値 P 1 は、オフセット補正を行う前の直接の計測値である。そして、例えばステージ制御装置 38 において、その計測値 P 1 より干渉計 87 Y 4 の干渉の次数  $N 2$  ( $N 2$  は整数) と、端数  $\epsilon 2 / (2\pi)$  との推定値を求める。この端数  $\epsilon 2$  は、上記の  $\phi 2$  に対応する値である。

【0106】即ち、ステージ制御装置 38 内の演算部は、計測ビーム 92 Y 3, 92 Y 4 の間隔  $DX 2$ 、ウェハステージ W S T 2 の回転角の計測値  $\theta W 2$ 、干渉計 87 Y 3 の計測値 P 1、及び干渉計 87 Y 4, 87 Y 3 の計測値の初期値の差分 ( $= P 20 - P 10$ ) より、干渉計 87 Y 4 のオフセット補正前の計測値 P 2 の推定値 P 2' を次のように算出する。

$$P 2' = P 1 + DX 2 \cdot \theta W 2 + (P 20 - P 10)$$

【0107】例えば回転角の計測値  $\theta W 2$  の計測精度が高い場合には、この推定値 P 2' をそのまま干渉計 87 Y 4 の現在の計測値 P 2 の値としてプリセットしてもよい。しかしながら、計測値  $\theta W 2$  には或る程度の計測誤差が含まれていることがあるため、干渉計 87 Y 4 は幅  $\lambda/m$  単位で絶対位置を計測できることを利用して、その演算部はその指定値 P 2' を整数分と端数分とに分解する。従って、干渉計 87 Y 4 の計測値の推定値 P 2' の中で長さ  $\lambda/m$  の  $N 2$  倍の残りの値が端数  $\epsilon 2 / (2\pi)$  となる。即ち、ステージ制御装置 38 は次のように整数  $N 2$ 、及び端数  $\epsilon 2$  を算出（推定）する。

【0108】

$$(1)$$

$$(2)$$

では、計測値 P 1 から得られる干渉の次数及び端数の推定値 ( $N 2$ ,  $\epsilon 2$ ) と、干渉計 87 Y 4 で実際に計測さ

れる位相差（絶対位相） $\phi 2$ とから、干渉計 87Y4 の整数（次数） $N 2$  のプリセット値を決定する。

【0109】図 9 は、本例のステージ制御装置 38 の一部、及び干渉計 87Y4 の一部を示し、図 9 に示すように、干渉計 87Y4 は、例えばレーザ光源から出力された参照信号 SR と測定信号 S2（計測ビームと参照ビームとの干渉光の光電変換信号）とが入力される位相比較器 26 を有している。位相比較器 26 は、参照信号 SR と測定信号 S2 との位相差  $\phi 2$  を検出し、検出された位相差  $\phi 2$  は積算器 27 に出力されると共に、ステージ制御装置 38 内の計算処理装置 28 にも出力されている。なお、他の干渉計もそれぞれ位相比較器 26、及び積算器 27 を備えている。

【0110】積算器 27 は、計測時には上記のようにその位相差  $\phi 2$  の変化より整数  $N 2$  を積算して、 $\{N 2 + \phi 2 / (2\pi)\}$  に  $(\lambda/m)$  を乗じて得られる計測値 P2 を、移動鏡（本例では反射面 85Y）の移動量を示す情報としてステージ制御装置 38 に出力している。但し、今のように計測値の受け渡しを行うときには、計算処理装置 28 では、位相比較器 26 から入力された位相差  $\phi 2$  と、上記の演算部から入力された端数の推定値  $\epsilon 2$  とを比較する。この比較は、推定された位相差の推定値  $\epsilon 2$  が 0（ゼロ）又は  $2\pi$  に近い場合、推定した干渉の次数を示す整数  $N 2$  が  $\pm 1$  の範囲でずれている可能性があるため、その検証のために行うものである。この比較の動作を図 10 を参照しつつ説明する。便宜上、図 10 では、 $N 2$  の推定値を次数  $N$  としている。

$$P 2 = (\lambda/m) \cdot N' + (\lambda/m) (\phi 2 / 2\pi) \quad (3)$$

これによって、干渉計 87Y4 の計測値 P2 は、実質的に元の値に復帰したことになると共に、干渉計 87Y3 の計測値が干渉計 87Y4 に正確に受け渡されたことになる。

【0113】以上のように本例では、鏡面からの反射光が再び得られるようになった第 1 の干渉計にプリセット値を設定する際には、他の第 2 の干渉計の測定値から算出される測定値をその第 1 の干渉計の干渉の次数（ $N 1$ 、又は  $N 2$ ）を決定するための推定値として利用し、推定された干渉の次数とその第 1 の干渉計で測定した位相差（絶対位相） $\phi$  とに基づいて、その第 1 の干渉計の干渉の次数（ $N 1$ 、又は  $N 2$ ）のプリセット値、ひいては干渉計の計測値のプリセット値を決定するようにしている。この際には、測定ビームが鏡面から一旦外れているため、干渉の次数  $N 2$  又は  $N 1$  が不明であるが、他の干渉計の測定値から計算で干渉の次数が求められるため、その干渉計のプリセット値はその干渉計固有の精度で設定することができる。

【0114】なお、装置立ち上げ時や、何らかの原因で全ての測定値に計測誤差が混入し、全ての干渉計の計測値をリセットする必要がある場合には、図 9 において、計算処理装置 28 に次数  $N 2 = 0$  を送り、同じく計

【0111】図 10（a）～（c）において、横軸は参照信号と計測信号との位相差を表し、特に干渉の次数  $k = N - 1$ 、 $k = N$ 、 $k = N + 1$  の範囲の位相差を図示している。1 つの次数内で位相差は  $2\pi$  変化している。図 10（a）は、実際の位相差  $\phi 2$  と位相差の推定値  $\epsilon 2$  との差の絶対値が  $\pi$  より小さい（ $|\phi 2 - \epsilon 2| < \pi$ ）場合を示している。この場合は図示の通り実際の位相差  $\phi 2$  は次数  $N$  内にあるので、干渉の次数は推定値通り  $N$  であり、次数のプリセット値  $N' = N$  とする。図 10（b）は、実際の位相差  $\phi 2$  から位相の推定値  $\epsilon 2$  を減じた値が  $\pi$  より大きい（ $\phi 2 - \epsilon 2 > \pi$ ）場合を示している。この場合は図示の通り実際の位相差  $\phi 2$  は次数  $N - 1$  内にあるので、プリセット値  $N'$  は、 $N' = N - 1$  とする。また、図 10（c）は、実際の位相差  $\phi 2$  から位相の推定値  $\epsilon 2$  を減じた値が  $-\pi$  より小さい（ $\phi 2 - \epsilon 2 < -\pi$ ）場合を示している。この場合は図示の通り実際の位相差  $\phi 2$  は次数  $N + 1$  内にあるので、 $N' = N + 1$  とする。

【0112】計算処理装置 28 では、以上のようにして求めたプリセット値  $N'$  を、図 9 の積算器 27 に対するプリセット値 RE として出力する。積算器 27 では、プリセット値 RE（即ち  $N'$ ）を整数  $N 2$  のプリセット値として設定し、位相比較器 26 からの位相差  $\phi 2$  とその整数  $N'$  とから次のように Y 座標の計測値 P2 を算出して、ステージ制御装置 38 に供給し、後は通常の計測動作を行う。

計算処理装置 28 の出力（プリセット値）RE（ $= 0$ ）を積算器 27 に設定するようにしておく必要がある。この場合は、結局のところ位相差（絶対位相） $\phi 2$  に対応する値だけが積算器 27（干渉計 87Y4）に設定されることになる。同様に干渉計 87Y3 の初期値も位相差  $\phi 1$  に対応する値となる。

【0115】また、積算器 27 の出力 P2 が必要に応じて計算処理装置 18 にフィードバックされるようにしてもよい。この場合、積算器 27 を例えばリセットした後、計算処理装置 28 からリセット値が積算器 27 に設定されるまでの間のウエハステージの変位量までを含めて積算器 27 にプリセット値として設定することができる。この際には、ウエハステージからの反射光が受光可能になったときから、プリセット値 RE が積算器 27 に設定されるまでの間のウエハステージの変位量まで考慮したより精密な初期値の設定を行うことができるようになる。

【0116】また、本例ではウエハステージ WST2 が移動する際には、ウエハステージ WST2 の側面 85Y に干渉計 87Y3 ～ 87Y5 からの計測ビームの内何れか 1 本の計測ビームが照射されている必要がある。そのため、本例では、各計測ビーム間の間隔（例えば、図 8

に示す計測ビーム 92Y3, 92Y4 の間隔 DX2) が、ウエハステージ WST2 の X 方向の幅 DX1 よりも短くなるように干渉計を配置している。

【0117】また、図 6 のレチクルステージ RST1, RST2 の位置計測を行うための干渉計 83X1~83X5 においても、同様にして干渉計の初期値 (プリセット値) 設定が行われ、これに基づいて計測値の受け渡しが行われる。次に、本例の投影露光装置では、ウエハステージ WST1 及び WST2 との間でそれぞれウエハの交換を行う第 1 及び第 2 の搬送システムが設けられている。

【0118】第 1 の搬送システムは、図 11 に示すように、左側のウエハローディング位置にあるウエハステージ WST1 との間で後述するようにしてウエハ交換を行う。この第 1 の搬送システムは、Y 軸方向に延びる第 1 のローディングガイド 96A、このローディングガイド 96A に沿って移動する第 1 及び第 2 のスライダ 97A, 97C、第 1 のスライダ 97A に取り付けられたアンロードアーム 98A、第 2 のスライダ 97C に取り付けられたロードアーム 98C 等を含んで構成される第 1 のウエハローダと、ウエハステージ WST1 上に設けられた 3 本の上下動部材から成る第 1 のセンターアップ 99 とから構成される。

【0119】この第 1 の搬送システムによるウエハ交換の動作について、簡単に説明する。ここでは、図 11 に示すように、左側のウエハローディング位置にあるウエハステージ WST1 上にあるウエハ W1' と第 1 のウエハローダにより搬送されてきたウエハ W1 とが交換される場合について説明する。まず、主制御装置 90 では、ウエハステージ WST1 上の不図示のウエハホルダの真空吸着をオフにしてウエハ W1' の吸着を解除する。次に、主制御装置 90 では、不図示のセンターアップ駆動系を介してセンターアップ 99 を所定量上昇させる。これにより、ウエハ W1' が所定位置まで持ち上げられる。この状態で、主制御装置 90 では、不図示のウエハローダ制御装置を介してアンロードアーム 98A をウエハ W1' の真下に移動させる。この状態で、主制御装置 90 では、センターアップ 99 を所定位置まで下降駆動させて、ウエハ W1' をアンロードアーム 98A に受け渡した後、アンロードアーム 98A の真空吸着を開始させる。次に、主制御装置 90 では、ウエハローダ制御装置にアンロードアーム 98A の退避とロードアーム 98C の移動開始を指示する。これにより、アンロードアーム 98A が図 11 の -Y 方向への移動を開始し、ウエハ W1 を保持したロードアーム 98C がウエハステージ WST1 の上方に来たとき、ウエハローダ制御装置によりロードアーム 98C の真空吸着が解除され、続いてセンターアップ 99 を上昇駆動することで、ウエハ W1 がウエハステージ WST1 上に受け渡される。

【0120】また、ウエハステージ WST2 との間でウ

エハの受け渡しを行う第 2 の搬送システムは、図 12 に示すように、第 1 の搬送システムと対称に、第 2 のローディングガイド 96B、この第 2 のローディングガイド 96B に沿って移動するスライダ 97B 及び 97D、第 3 のスライダ 97B に取り付けられたアンロードアーム 98B、第 4 のスライダ 97D に取り付けられたロードアーム 98D 等を含んで構成されている。ロードアーム 98D には次に露光されるウエハ W2' が保持されている。

【0121】次に、本例の投影露光装置の 2 つのウエハステージ WST1, WST2 による並行処理について図 11 及び図 12 を参照して説明する。図 11 には、ウエハステージ WST2 上のウエハ W2 に投影光学系 PL1 を介して露光を行っている間に、左側ローディング位置にて上述の様にウエハステージ WST1 と第 1 の搬送システムとの間でウエハの交換が行われている状態の平面図が示されている。この場合、ウエハステージ WST1 上では、ウエハ交換に引き続いて後述するようにしてアライメント動作が行われる。なお、図 11 において、露光動作中のウエハステージ WST2 の位置制御は、干渉計システムの計測ビーム 92X5, 92Y3 の計測値に基づいて行われ、ウエハ交換とアライメント動作とが行われるウエハステージ WST1 の位置制御は、干渉計システムの計測ビーム 92X2, 92Y1 の計測値に基づいて行われる。このため、図 5 の主制御装置 90 ではステージ制御装置 38 に指示して、ウエハ交換とアライメント動作とをする前に、後述する干渉計の計測値の初期値設定 (プリセット) を実施している。

【0122】ウエハ交換、及び干渉計の初期値設定に引き続いて、サーチアライメントが行われる。ウエハ交換後に行われるサーチアライメントとは、ウエハ W1 の搬送中になされるブリアライメントだけでは位置誤差が大きいため、ウエハステージ WST1 上で再度行われるブリアライメントのことである。具体的には、ステージ WST1 上に載置されたウエハ W1 上に形成された 3 つのサーチアライメントマーク (不図示) の位置を図 5 のアライメント系 88A の LSA 系のセンサ等を用いて計測し、その計測結果に基づいてウエハ W1 の X 方向、Y 方向、及び  $\theta$  方向の位置合わせを行う。このサーチアライメントの際の各部の動作は、主制御装置 90 により制御される。

【0123】このサーチアライメントの終了後、ウエハ W1 上の各ショット領域の配列をここでは EGA (エンハンスト・グローバル・アライメント) 方式で求めるファインアライメントが行われる。具体的には、干渉計システム (計測ビーム 92X2, 92Y1) により、ウエハステージ WST1 の位置を管理しつつ、設計上のショット配列データ (アライメントマーク位置データ) をもとに、ウエハステージ WST1 を順次移動させつつ、ウエハ W1 上の所定のショット領域 (サンプルショット)

のアライメントマーク位置を図5のアライメント系88AのFIA系のセンサ等で計測し、この計測結果とショット配列の設計座標データに基づいて最小自乗法による統計演算により、全てのショット配列データを算出する。なお、このEGA方式のファインアライメントの際の各部の動作は図5の主制御装置90により制御され、上記の演算は主制御装置90により行われる。

【0124】そして、ウエハステージWST1側で、ウエハ交換、及びアライメント動作が行われている間に、ウエハステージWST2側では、2枚のレチクルR1、R2を使い、露光条件を変えながら連続してステップ・アンド・スキャン方式により二重露光が行われる。具体的には、前述したウエハW1側と同様にして、事前にEGA方式によるファインアライメントが行われており、この結果得られたウエハW2上のショット配列データに基づいて、順次ウエハW2上のショット領域を投影光学系PL1の光軸下方に移動させた後、各ショット領域の露光の都度、図6のレチクルステージRST1（又はRST2）とウエハステージWST2とを走査方向に同期走査させることにより、走査露光が行われる。このようなウエハW2上の全ショット領域に対する露光がレチクル交換後にも連続して行われる。具体的な二重露光の露光順序としては、ウエハW2の各ショット領域にレチクルR2を使って順次走査露光を行った後、レチクルステージRST1、RST2を+Y方向に所定量移動してレチクルR1を助走開始位置に設定した後、走査露光を行う。このとき、レチクルR2とレチクルR1とでは露光条件（輪帯照明、変形照明等の照明条件、及び露光量等）や透過率が異なるので、予め露光データ等に基づいて各条件の変更を行う必要がある。このウエハW2の二重露光中の各部の動作も主制御装置90によって制御される。

【0125】上述した図11に示す2つのウエハステージWST1、WST2上で並行して行われる露光シーケンスとウエハ交換・アライメントシーケンスとは、先に終了したウエハステージの方が待ち状態となり、両方の動作が終了した時点で図12に示す位置までウエハステージWST1、WST2が移動制御される。そして、露光シーケンスが終了したウエハステージWST2上のウエハW2は、右側ローディングポジションでウエハ交換がなされ、アライメントシーケンスが終了したウエハステージWST1上のウエハW1は、投影光学系PL1の下で露光シーケンスが行われる。図12に示される右側ローディングポジションでは、左側ローディングポジションと同様に、前述のウエハ交換動作とアライメントシーケンスとが実行されることとなる。

【0126】上記のように本例では、2つのウエハステージWST1、WST2を独立して2次元方向に移動させながら、各ウエハステージ上のウエハW1、W2に対して露光シーケンスとウエハ交換・アライメントシーケ

ンスとを並行して行うことにより、スループットの向上を図っている。ところが、2つのウエハステージを使って2つの動作を同時並行処理する場合は、一方のウエハステージ上で行われる動作が外乱要因として、他方のウエハステージで行われる動作に影響を与える場合がある。また、逆に、一方のウエハステージ上で行われる動作が他方のウエハステージで行われる動作に影響を与えない動作もある。そこで、本例では、並行処理する動作の内、外乱要因となる動作とならない動作とに分けて、外乱要因となる動作同士、あるいは外乱要因とならない動作同士が同時に行われるように、各動作のタイミング調整が図られる。

【0127】例えば、走査露光中は、ウエハW1とレチクルR1、R2とを等速で同期走査させることから外乱要因とならない上、他からの外乱要因を極力排除する必要がある。このため、一方のウエハステージWST1上での走査露光中は、他方のウエハステージWST2上のウエハW2で行われるアライメントシーケンスにおいて静止状態となるようにタイミング調整がなされる。即ち、アライメントシーケンスにおける計測は、ウエハステージWST2を静止させた状態で行われるため、走査露光によって外乱要因とならず、走査露光中に並行してマーク計測を行うことができる。一方、アライメントシーケンスにおいても、走査露光中は、等速運動なので外乱とはならず高精度計測が行えることになる。

【0128】また、ウエハ交換時においても同様のことが考えられる。特に、ロードアームからウエハをセンターアップに受け渡す際に生じる振動等は、外乱要因となり得るため、走査露光前、あるいは、同期走査が等速度で行われるようになる前後の加減速時（外乱要因となる）に合わせてウエハの受け渡しをするようにしても良い。なお、これらのタイミング調整は、主制御装置90によって行われる。

【0129】更に、本例では、複数枚のレチクルを使って二重露光を行うことから、高解像度とDOF（焦点深度）の向上効果が得られる。しかし、この二重露光法は、露光工程を少なくとも2度繰り返さなければならぬため、単一のウエハステージを用いる場合には、露光時間が長くなって大幅にスループットが低下する。しかしながら、本例の2つのウエハステージを備えた投影露光装置を用いることにより、スループットが大幅に改善できると共に、高解像度と焦点深度DOFの向上効果とが得られる。

【0130】なお、本発明の適用範囲がこれに限定されるものではなく、一重露光法により露光する場合にも本発明は好適に適用できるものである。2つのウエハステージを使用することによって、1つのウエハステージを使って一重露光法を実施する場合に比べてほぼ倍の高スループットを得ることができる。なお、この第2の実施の形態において、第1の実施の形態のように、露光光の

状態又は結像特性を計測するための計測用ステージを更に設けるようにしてもよい。また、本例では、1次元モータの組み合わせによってウエハステージを駆動しているが、第1の実施の形態のように、平面モータによって2次的に駆動するようにしてもよい。

【0131】本実施の形態の投影露光装置は、多数の機械部品からなるレチクルステージRST（RST1、RST2）、ウエハステージWST（WST1、WST2）を組み立てるとともに、複数のレンズから構成される投影光学系PL（PL1）の光学調整を行い、更に、総合調整（電気調整、動作確認等）をすることにより製造することができる。なお、投影露光装置の製造は温度及びクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

【0132】また、上記の実施の形態では、ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置に本発明を適用したが、本発明はこれに限られず、ステップ・アンド・リピート方式の投影露光装置、プロキシミティ方式の露光装置、あるいは、X線等のEUV光を露光ビームとする露光装置や電子線（エネルギー線）を光源（エネルギー線）とする荷電粒子線露光装置であっても同様に適用することができる。また、露光装置のみならず、ウエハ等を位置決めするためのステージを使用する検査装置、又はリペア装置等に用いてもよい。

【0133】なお、本発明は上述の実施の形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得ることは勿論である。

#### 【0134】

【発明の効果】本発明の第1のステージ装置によれば、個別の機能毎、又は所定の複数の機能群毎にそれぞれ可動ステージを設けることによって、各可動ステージを小型化させて、高速にかつ高精度に駆動することができる。また、複数の可動ステージをそれぞれ第1測定系の計測範囲よりも大きい範囲で移動させることができ、更に、各可動ステージがその第1測定系の計測範囲内に入った際には、第1測定系によりその可動ステージの位置を高い再現性で高精度に計測することができる。

【0135】次に、本発明の第2のステージ装置によれば、その複数の可動ステージの位置をそれぞれ広い計測範囲で、かつ高い再現性で高精度に計測できる。また、その第1測定系の計測結果をその第2測定系の計測結果に合わせるのみでその可動ステージの位置を第1測定系により高精度に計測できるため、スループットの向上を図ることができる。

【0136】次に、本発明の第1の露光装置によれば、本発明のステージ装置を備えているため、例えば干渉計によりその可動ステージの位置を計測する場合には、移動鏡をその可動ステージの移動範囲よりも小さくすることができる。従って、その可動ステージを高速に移動させる

ことが容易になり、高いスループットで二重露光法等を用いて露光を行うことができ、解像度、及び焦点深度の向上を図ることができる。

【0137】次に、本発明の第2の露光装置によれば、本来の露光に使用するその第1の可動ステージには露光に必要な最小限の機能のみを持たせることによって、その第1の可動ステージの大きさは必要最小限にできるため、ステージの小型化、軽量化を行いスループットの向上を図ることができる。一方、露光に直接必要がなく、そのマスクのパターンを転写する際の特性を計測するための特性計測装置は、別の第2の可動ステージに搭載されるため、そのマスクのパターンを転写する際の特性を計測することもできる。また、本発明のステージ装置を備えているため、その複数の可動ステージの位置を高精度に計測することができる。

【0138】次に、本発明の第3の露光装置によれば、例えばその複数の可動ステージの内の方の可動ステージで露光動作を行いながら、別の可動ステージでは基板の搬入搬出及びアライメント動作を行うことができ、スループットの向上を図ることができる。次に、本発明の第4の露光装置によれば、本来の露光に使用するその第1の可動ステージには露光に必要な最小限の機能のみを持たせることによって、その第1の可動ステージの小型化、軽量化を行いスループットの向上を図ることができる。一方、露光に直接必要がなく、その投影光学系の結像特性を計測するための特性計測装置は、別の第2の可動ステージに搭載されるため、結像特性も計測できる。

【0139】次に、本発明の第1の位置決め方法によれば、迅速にその複数の可動ステージの位置を高精度に計測して位置決めすることができる。同様に、本発明の第2の位置決め方法によれば、迅速にその複数の可動ステージの位置を高精度に計測して位置決めすることができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1の実施の形態の投影露光装置の概略構成図である。

【図2】 図1のウエハステージWST、及び計測用ステージ14を示す平面図である。

【図3】 図1のレチクルステージRST、及び計測用ステージ5を示す平面図である。

【図4】 第1の実施の形態において、計測用ステージ14を用いて露光光の状態等を計測する場合の説明に供する平面図である。

【図5】 本発明の第2の実施の形態の投影露光装置の概略構成図である。

【図6】 図5の実施の形態の2つのウエハステージWST1、WST2と、2つのレチクルステージRST1、RST2と、投影光学系PL1と、アライメント系88A、88Bとの位置関係を示す斜視図である。

【図7】 図5のウエハステージの駆動機構の構成を示

す平面図である。

【図 8】 本発明の第 2 の実施の形態において実施される干渉計の計測値設定を説明するための図である。

【図 9】 本発明の第 2 の実施の形態の干渉計システムに用いられる信号処理系の一部の概略構成を示す図である。

【図 10】 本発明の第 2 の実施の形態の干渉計システムにおける信号処理の一例を示す図である。

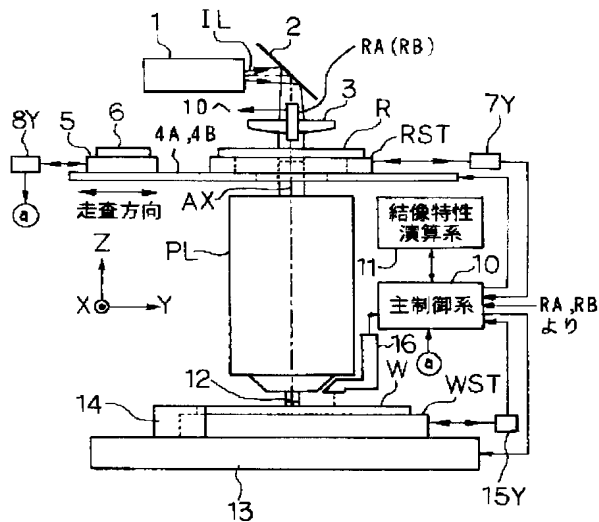
【図 11】 2 つのウエハステージ WST 1, WST 2 を使用してウエハ交換・アライメントシーケンスと露光シーケンスとが行われている状態を示す平面図である。

【図 12】 図 11 のウエハ交換・アライメントシーケンスと露光シーケンスと切り換えを行った状態を示す図である。

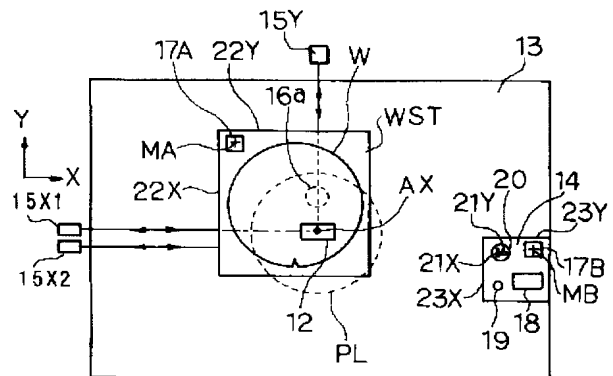
# 【符号の説明】

MA, MB, MC 1, MC 2, MD 1, MD 2…基準マーク、R, R 1, R 2…レチクル、RA, RB…レチクルアライメント顕微鏡、RST, RST 1, RST 2…レチクルステージ、W, W 1, W 2…ウエハ、WST, WST 1, WST 2…ウエハステージ、5…計測用ステージ、7 X 1, 7 X 2, 7 Y, 8 Y, 15 X 1, 15 X 2, 15 Y…レーザ干渉計、10…主制御系、11…結像特性演算系、13…定盤、14…計測用ステージ、16…ウエハアライメントセンサ、26…位相比較器、27…積算器、28…計算処理装置、38…ステージ制御装置、83 X 1~83 X 5, 83 Y 1~83 Y 4, 87 X 2, 87 X 5, 87 Y 1~87 Y 5…干渉計、88 A, 88 B…アライメント系、90…主制御装置

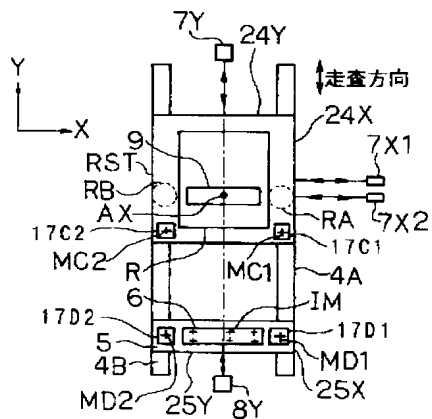
【図 1】



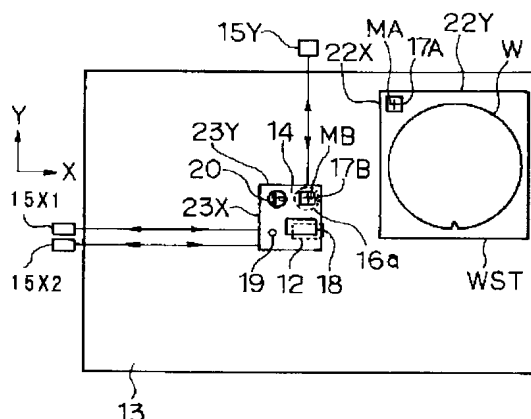
【図 2】



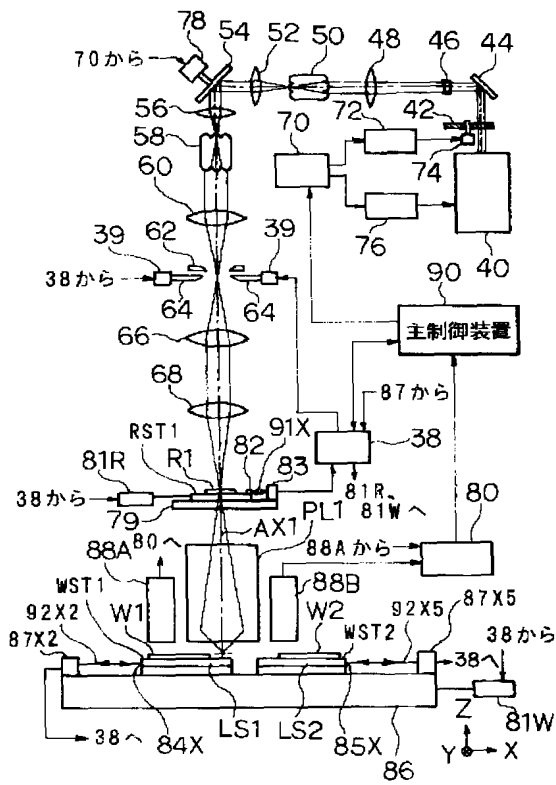
【図 3】



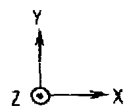
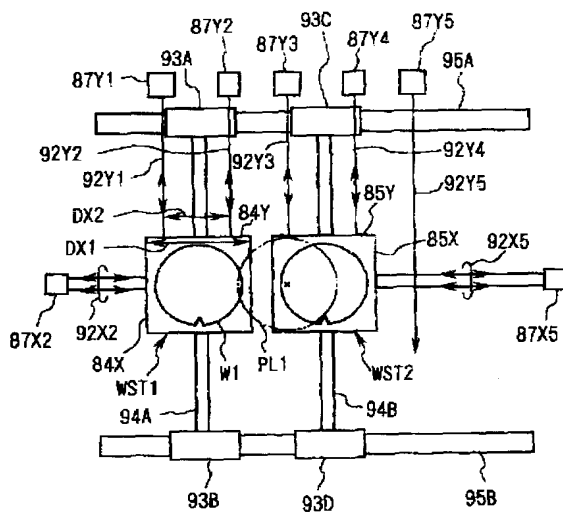
【図 4】



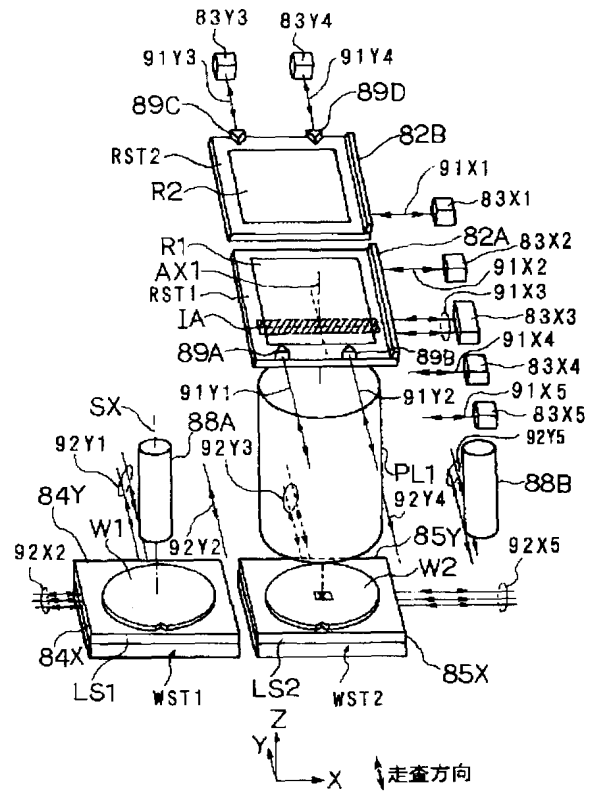
【図 5】



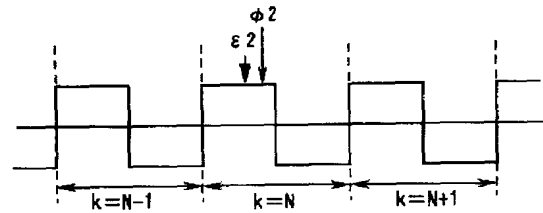
【图 7】



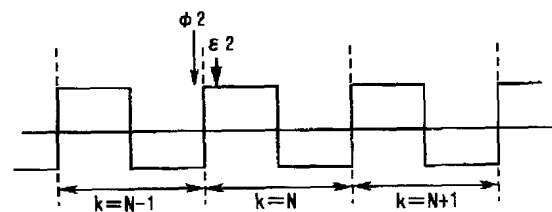
【図 6】



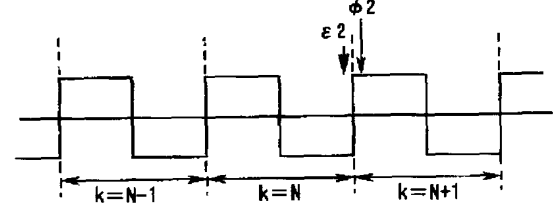
【図 10】

$$(a) \quad |\phi^2 - \varepsilon^2| < \pi$$


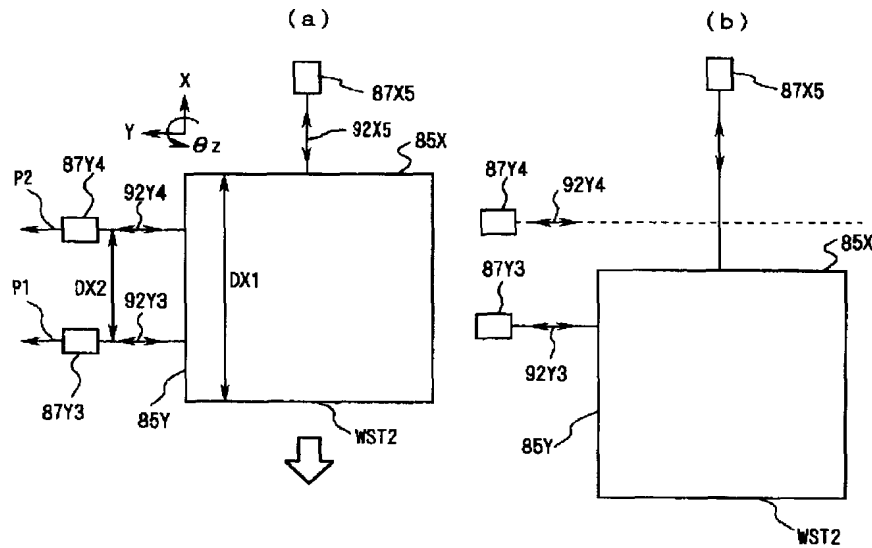
(b)  $\phi^2 - \varepsilon^2 > \pi$



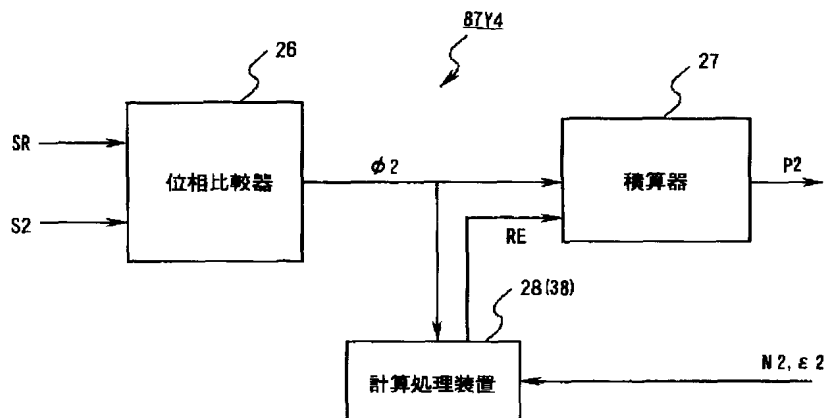
(c)  $\phi^2 - \varepsilon^2 < -\pi$



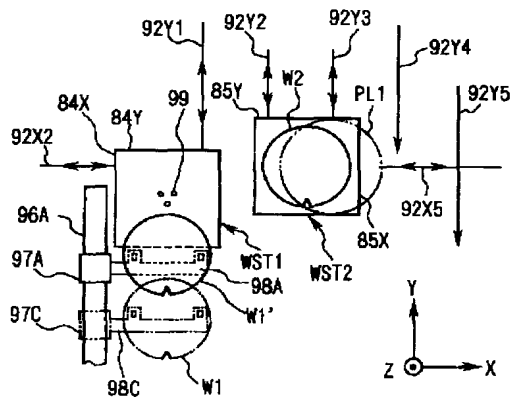
【図 8】



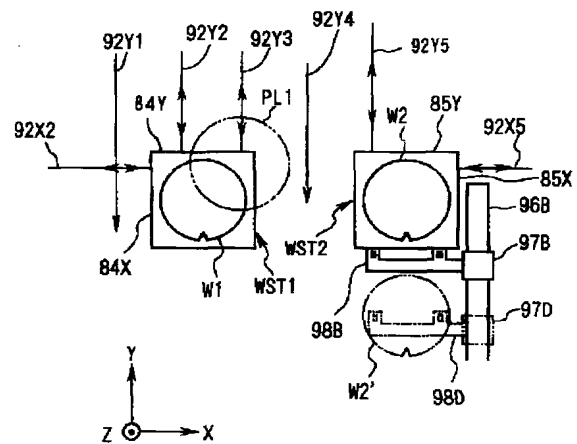
【図 9】



【図 11】



【図 12】



フロントページの続き

F ターム(参考) 2H097 AA12 BA01 KA03 KA28 KA38  
LA10  
5F046 AA13 CC01 CC02 CC13 CC16  
CC17 DB05 DB10 DC05 DC12